

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2004-531125

(P2004-531125A)

(43) 公表日 平成16年10月7日(2004.10.7)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

F I

テーマコード (参考)

H04S 7/00

H04S 7/00

F

5C022

H04N 5/232

H04N 5/232

Z

5D018

H04R 1/40

H04R 1/40

310

5D062

H04S 3/00

H04S 3/00

Z

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 128 頁)

(21) 出願番号 特願2002-576475 (P2002-576475)  
 (86) (22) 出願日 平成14年3月27日 (2002.3.27)  
 (85) 翻訳文提出日 平成15年9月26日 (2003.9.26)  
 (86) 国際出願番号 PCT/GB2002/001472  
 (87) 国際公開番号 W02002/078388  
 (87) 国際公開日 平成14年10月3日 (2002.10.3)  
 (31) 優先権主張番号 0107699.1  
 (32) 優先日 平成13年3月27日 (2001.3.27)  
 (33) 優先権主張国 英国 (GB)  
 (31) 優先権主張番号 0200291.3  
 (32) 優先日 平成14年1月8日 (2002.1.8)  
 (33) 優先権主張国 英国 (GB)

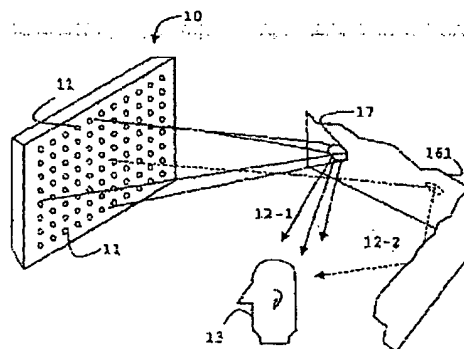
(71) 出願人 502113699  
 1. . . . リミテッド  
 イギリス国、ケンブリッジ、カウリイ ロ  
 ード、 セント ジョーンズ イノベシ  
 ヨン センター  
 (74) 代理人 100066692  
 弁理士 浅村 皓  
 (74) 代理人 100072040  
 弁理士 浅村 肇  
 (74) 代理人 100091339  
 弁理士 清水 邦明  
 (74) 代理人 100094673  
 弁理士 林 拓三

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 音場を作り出す方法および装置

(57) 【要約】

本発明は、一般的に、入力信号を取り込み、それを多数回複製し、複製の各々を修正した後に、これらをそれぞれの出力変換器に導出し、所望の音場を作り出されるようにする方法および装置に関する。この音場は、指向ビーム、集束ビーム、または疑似音源を備えることができる。第1の態様では、遅延をサウンド・チャンネルに付加し、伝搬距離が異なることによる影響を解消する。第2の態様では、サウンド・チャンネルに付加した遅延を考慮するために、遅延をビデオ信号に付加する。第3の態様では、異なるウィンドウ関数を各チャンネルに適用して、使用の柔軟性を向上させる。第4の態様では、高周波数を出力するために用いる変換器の範囲を、低周波数を出力するために用いる変換器よりも小さくする。中央付近において変換器の密度を高めたアレイも提供する。第5の態様では、直線状の細長変換器を提供し、平面内において優れた指向性を与える。第6の態様では、面の前方または後方にサウンド・ビームを合焦させ、異なるビーム幅および疑似音源を与える。第



BEST AVAILABLE COPY

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

出力変換器のアレイを用いて、複数のサウンド・チャンネルから成る音場を作り出す方法であって、各チャンネル毎に、各出力変換器に関して第 1 遅延値を選択するステップであって、前記第 1 遅延値を、前記それぞれの変換器の前記アレイにおける位置に応じて選択する、ステップと、各チャンネル毎に第 2 遅延値を選択するステップであって、前記第 2 遅延値を、前記アレイから聴取者までの、当該チャンネルの音波の予想伝搬距離に応じて選択する、ステップと、各出力変換器に関して、各チャンネルを表す信号を遅延させた複製を得るステップであって、各遅延複製を、前記第 1 遅延値から成る第 1 成分と前記第 2 遅延値から成る第 2 成分とを有する値だけ遅延させる、ステップと、から成る方法。

## 【請求項 2】

請求項 1 または 2 記載の方法において、前記チャンネルを表す各信号を複製する前に、前記信号に前記第 2 遅延を与え、次いで前記それぞれの第 1 遅延値だけ各複製を遅延させる、方法。

## 【請求項 3】

請求項 1 または 2 記載の方法において、前記第 1 遅延値は、各サウンド・チャンネルがそれぞれの方向に送出されるように、所与の方向に応じて選択される、方法。

## 【請求項 4】

請求項 3 記載の方法において、各チャンネルを異なるそれぞれの方向に送出する、方法。

## 【請求項 5】

前出の請求項のいずれか 1 項に記載の方法において、前記第 2 遅延値の選択を、全サウンド・チャンネルの対応する部分が実質的に同時に前記聴取者に到達するように行う、方法。

## 【請求項 6】

音場を作り出す装置であって、異なるサウンド・チャンネルを表す複数のそれぞれの信号のための複数の入力と、出力変換器のアレイと、各出力変換器に関して、各それぞれの入力信号の複製を得るように構成された複製手段と、前記それぞれの出力変換器の前記アレイ内における位置に応じて選択したそれぞれの第 1 遅延値だけ、各信号の各複製を遅延するように構成された第 1 遅延手段と、前記アレイから聴取者までの当該チャンネルの音波の予想伝搬距離に応じて、各チャンネル毎に選択した第 2 遅延値だけ、各信号の各複製を遅延させるように構成された第 2 遅延手段と、から成る装置。

## 【請求項 7】

請求項 6 記載の装置において、前記第 2 遅延手段が、前記複製手段によって複製が作成される前に、前記入力信号を遅延させるように構成されている、装置。

## 【請求項 8】

請求項 6 または 7 記載の装置において、前記第 1 遅延値は、各サウンド・チャンネルを前記それぞれの方向に送出するように、所与の方向に応じて選択する、装置。

## 【請求項 9】

請求項 8 記載の装置において、各チャンネルを異なる方向に送出する、装置。

## 【請求項 10】

請求項 6 ないし 9 のいずれか 1 項に記載の装置において、前記第 2 遅延手段が、全サウンド・チャンネルが実質的に同時に聴取者に到達するように、各チャンネル毎に前記第 2 遅延を選択するように構成されている、装置。

## 【請求項 11】

(3)

中央チャンネルと少なくとも1つのサラウンド・サウンド・チャンネルから成る音場を作り出し、出力変換器のアレイを用いて、前記少なくとも1つのサラウンド・サウンド・チャンネルを所定の方向に送出する方法であって、前記少なくとも1つのサラウンド・サウンド・チャンネルに対して、各出力変換器に関して第1遅延値を選択するステップであって、前記第1遅延値を、前記それぞれの変換器の前記アレイにおける位置に応じて選択し、前記チャンネルを前記所定の方向に送出する、ステップと、  
前記中央チャンネルに対して第2遅延値を選択するステップであって、前記第2遅延値を、前記アレイから聴取者までの前記チャンネルの音波の予想伝搬距離に応じて選択する、ステップと、  
各出力変換器に関して、前記少なくとも1つのサラウンド・サウンド・チャンネルを表す信号を遅延させた複製を得るステップであって、各遅延複製を、当該出力変換器および当該チャンネルについて計算した前記第1遅延値だけ遅延させる、ステップと、  
各出力変換器に関して、前記中央チャンネルを表す信号を遅延させた複製を得るステップであって、各遅延複製を前記第2遅延値だけ遅延させる、ステップと、  
前記出力変換器のアレイを用いて、前記遅延複製を出力するステップと、  
から成る方法。

【請求項12】

請求項11記載の方法であって、更に、  
前記中央チャンネルに対して、各出力変換器に関して第1遅延値を選択するステップであって、前記第1遅延値を、前記それぞれの変換器の前記アレイにおける位置に応じて選択し、前記中央チャンネルを所定の方向に送出する、ステップを含み、  
各出力変換器に関して前記中央チャンネルを表す信号を遅延させた複製を得るステップは、更に、  
前記中央チャンネルを表す前記信号の各複製を、前記それぞれの出力変換器および当該中央チャンネルについて計算した前記第1遅延値だけ遅延させるステップを含む、  
方法。

【請求項13】

請求項11記載の方法において、前記中央チャンネルを表す前記信号の複製は、前記第2遅延値以外の値では遅延させず、前記第2遅延値が、前記信号の各複製について同一である、方法。

【請求項14】

請求項11ないし13のいずれか1項に記載の方法であって、更に、  
前記少なくとも1つのサラウンド・サウンド・チャンネルに対して、各出力変換器に関して第2遅延値を選択するステップであって、前記第2遅延値を、前記アレイから聴取者までの前記チャンネルの音波の予想伝搬距離に応じて選択するステップを含み、  
各出力変換器に関して、前記少なくとも1つのサラウンド・サウンド・チャンネルを表す信号を遅延させて複製を得る前記ステップは、更に、  
前記少なくとも1つのサラウンド・サウンド・チャンネルを表す前記信号の各複製を、前記それぞれの出力変換器および前記少なくとも1つのサラウンド・サウンド・チャンネルについて計算した前記第2遅延値だけ遅延させるステップを含む、  
方法。

【請求項15】

請求項11ないし14のいずれか1項に記載の方法において、前記信号を複製する前に、前記中央チャンネルを表す各信号に前記第2遅延を与える、方法。

【請求項16】

請求項11ないし15のいずれか1項に記載の方法において、前記音場が、2つのサラウンド・サウンド・チャンネルを備え、各サラウンド・サウンド・チャンネルを異なる方向に送出する、方法。

【請求項17】

(4)

請求項11ないし16のいずれか1項に記載の方法において、前記第2遅延値の選択を、全サウンド・チャンネルの対応する部分が実質的に同時に聴取者に到達するように行う、方法。

【請求項18】

請求項11ないし17のいずれか1項に記載の方法において、前記少なくとも1つのサラウンド・サウンド・チャンネルを表す前記信号の前記遅延複製を、前記中央チャンネルを表す前記信号のそれぞれの遅延複製に加算した後に、前記それぞれの出力変換器によって出力する、方法。

【請求項19】

請求項11ないし18のいずれか1項に記載の方法において、聴取者に到達する前に、前記少なくとも1つのサラウンド・サウンド・チャンネルの音波を壁のような表面で跳ね返す、方法。

【請求項20】

音場を作り出す装置であって、

少なくとも1つのサラウンド・サウンド・チャンネルと中央チャンネルとを表す複数の入力信号を受ける手段と、

出力変換器のアレイと、

各出力変換器に関して、前記少なくとも1つのサラウンド・サウンド・チャンネルを表す前記信号の複製と、中央チャンネルを表す前記信号の複製とを得るように構成された複製手段と、

前記少なくとも1つのサラウンド・サウンド・チャンネルを表す前記信号の各複製を、前記それぞれの変換器の前記アレイにおける位置に応じて選択したそれぞれの第1遅延値だけ遅延させ、前記チャンネルを所定の方向に送出するように構成された第1遅延手段と、

前記中央チャンネルを表す前記信号の各複製を、前記アレイから聴取者までの前記チャンネルの音波の予測伝搬距離に応じて選択した第2遅延値だけ遅延させるように構成された第2遅延手段と、  
を備えている装置。

【請求項21】

請求項20記載の装置において、前記第1遅延手段が、更に、前記中央チャンネルを表す前記信号の各複製を、前記それぞれの変換器の前記アレイにおける位置に応じて選択したそれぞれの第1遅延値だけ遅延させ、前記中央チャンネルを所定の方向に送出するように構成されている、装置。

【請求項22】

請求項20または21記載の装置において、前記第2遅延手段が、更に、前記少なくとも1つのサラウンド・サウンド・チャンネルを表す前記信号の各複製を、前記アレイから聴取者までの前記チャンネルの音波の予想伝搬距離に応じて選択したそれぞれの第2遅延値だけ遅延させるように構成されている、装置。

【請求項23】

請求項20ないし22のいずれか1項に記載の装置において、前記第2遅延手段が、前記複製手段によって複製する前に、前記入力信号を遅延させるように構成されている、装置。

【請求項24】

請求項20ないし23のいずれか1項に記載の装置において、前記音場が2つのサラウンド・サウンド・チャンネルを備えており、前記第1遅延手段が、各サラウンド・サウンド・チャンネルを異なる方向に送出させるように構成されている、装置。

【請求項25】

請求項20ないし24記載のいずれか1項に記載の装置において、前記第2遅延手段が、全サウンド・チャンネルが実質的に同時に聴取者に到達するように、前記チャンネルに対して前記第2遅延を選択するように構成されている、装置。

【請求項26】

請求項20ないし25のいずれか1項に記載の装置において、前記第1遅延手段および前記第2遅延手段が、同じ物理的手段である、装置。

【請求項27】

請求項11ないし19のいずれか1項に記載の方法または請求項20ないし26のいずれか1項に記載の装置において、前記出力変換器をクラスーBD PWM増幅器によって直接駆動する、方法または装置。

【請求項28】

オーディオ・ビジュアル・プレゼンテーションにおいて映像およびサウンド間に時間的対応付けを行い、出力変換器のアレイを用いて、複数のチャンネルから成るサウンド・コンテンツを再生する方法であって、各出力変換器に関して、サウンド・チャンネルを表す各信号の複製を、それぞれのオーディオ遅延値だけ遅延させるステップと、

時間的に対応するサウンド・チャンネルが聴取者に到達する実質的な時点に、対応するビデオ映像が表示されるように計算したビデオ遅延値だけ、ビデオ信号を遅延させるステップと、から成る方法。

【請求項29】

請求項28記載の方法において、各オーディオ遅延値を、前記それぞれの変換器の前記アレイにおける位置に応じて計算する、方法。

【請求項30】

請求項29記載の方法において、更に、前記アレイから聴取者までの前記チャンネルの音波の予想伝搬距離に応じて、各オーディオ遅延値を計算する、方法。

【請求項31】

請求項30記載の方法において、各サウンド・チャンネルの時間的に対応する部分が、実質的に同時に聴取者に到達するように、各オーディオ遅延値を計算する、方法。

【請求項32】

請求項28ないし31のいずれか1項に記載の方法において、前記アレイおよび前記聴取者間を伝搬する距離が最も長いサウンド・チャンネルが、前記アレイおよび前記聴取者間を伝搬するのに要する時間に等しい成分を有するように、前記ビデオ遅延値を計算する、方法。

【請求項33】

オーディオ・ビジュアル・プレゼンテーションにおいて、映像と複数のサウンド・チャンネルとの間に時間的な対応付けを行う装置であって、出力変換器のアレイと、

各出力変換器に関して、サウンド・チャンネルを表す各信号を遅延させた複製を得るように構成された複製および遅延手段と、

時間的に対応するサウンド・チャンネルが聴取者に到達する実質的な時点に、対応するビデオ映像が表示されるように計算したビデオ遅延値だけ、ビデオ信号を遅延させるように構成されたビデオ遅延手段と、を備えている装置。

【請求項34】

請求項33記載の装置において、前記複製および遅延手段は、前記それぞれの変換器の前記アレイにおける位置に応じて各オーディオ遅延値を計算するように構成されている、装置。

【請求項35】

請求項34記載の装置において、前記複製および遅延手段は、各オーディオ遅延値が、更に、前記アレイから聴取者までの当該チャンネルの音波の予想伝搬距離に応じて計算されるように構成されている、装置。

【請求項36】

請求項35記載の装置において、前記複製および遅延手段は、各サウンド・チャンネルの時

間的に対応する部分が実質的に同時に聴取者に到達するように、各オーディオ遅延値を計算するように構成されている、装置。

【請求項 37】

請求項 33 ないし 36 のいずれか 1 項に記載の装置において、前記ビデオ遅延手段が、前記アレイおよび前記聴取者間を伝搬する距離が最も長いサウンド・チャンネルが、前記アレイおよび前記聴取者間を伝搬するのに要する時間に等しくなるように、前記ビデオ遅延値を計算するように構成されている、装置。

【請求項 38】

出力変換器のアレイを用いて、複数のサウンド・チャンネルから成る音場を作り出す方法であって、チャンネル毎に、各出力変換器に関して、前記チャンネルを表す信号の複製を得て、チャンネル毎に 1 組の複製信号を得るステップと、第 1 サウンド・チャンネル信号から発現した第 1 組の複製信号に第 1 ウィンドウ関数を適用するステップと、第 2 サウンド・チャンネル信号から発現した第 2 組の複製信号に、異なる第 2 ウィンドウ関数を適用するステップと、

から成る方法。

【請求項 39】

請求項 38 記載の方法において、ウィンドウ関数を適用するステップは、各複製信号を減衰または増幅し、前記アレイの中央付近にある出力変換器に宛てられる複製信号を、前記アレイの縁端付近にある出力変換器に宛てられる複製信号よりも少なく減衰させるか、または多く増幅し、減衰または増幅量を前記ウィンドウ関数によって決定するステップを含む、方法。

【請求項 40】

請求項 38 または 39 に記載の方法において、前記用いるウィンドウ関数は、前記それぞれのサウンド・チャンネルがどのようにアレイによって出力されるかに応じて選択する、方法。

【請求項 41】

請求項 38 ないし 40 のいずれか 1 項に記載の方法において、前記用いるウィンドウ関数は、当該チャンネルに要求されるビームの種類に応じて選択する、方法。

【請求項 42】

請求項 38 ないし 41 のいずれか 1 項に記載の方法において、前記用いるウィンドウ関数が、音量制御の関数として可変の形状を有する、方法。

【請求項 43】

複数のサウンド・チャンネルから成る音場を作り出す装置であって、出力変換器のアレイと、

各出力変換器に関して、前記複数のチャンネルの各々を表す信号の複製を作成する複製手段と、第 1 サウンド・チャンネル信号から発現した第 1 組の複製信号に第 1 ウィンドウ関数を適用し、第 2 チャンネル信号から発現した第 2 組の複製信号に、異なる第 2 ウィンドウ関数を適用するウィンドウ手段と、を備えている装置。

【請求項 44】

請求項 43 記載の装置において、前記ウィンドウ手段が、前記アレイの中央付近にある出力変換器に宛てられる複製信号を、前記アレイの縁端付近にある出力変換器に宛てられる複製信号よりも少なく減衰させるか、または多く増幅するように構成されており、減衰または増幅量を前記ウィンドウ関数によって決定する、装置。

【請求項 45】

請求項 43 または 44 に記載の装置において、前記ウィンドウ手段を、前記複製手段の後段に直接設けた、装置。

**【請求項46】**

請求項43ないし45のいずれか1項に記載の装置において、前記ウィンドウ手段が、当該チャンネルに要求されるビームの種類に応じてウィンドウ関数を選択するように構成されている、装置。

**【請求項47】**

請求項43ないし46のいずれか1項に記載の装置において、チャンネルを表す信号から発生した1組の複製に適用するウィンドウ関数の形状を、前記チャンネルに選択した音量に応じて変化させる、装置。

**【請求項48】**

出力変換器のアレイを用いて音場を作り出す方法であって、  
入力信号を、少なくとも低周波成分と高周波成分に分割するステップと、  
前記アレイの第1部分に及ぶ出力変換器を用いて、前記低周波成分を出力するステップと、  
前記第1部分よりも小さい前記アレイの第2部分に及ぶ出力変換器を用いて、前記高周波成分を出力するステップと、  
から成る方法。

**【請求項49】**

請求項48記載の方法において、前記第2部分が、前記アレイの中心付近に位置する前記出力変換器の部分集合から成る、方法。

**【請求項50】**

請求項48または49に記載の方法において、3つ以上に分割した信号周波数成分があり、前記信号成分における最短波長の、当該信号成分を出力するために用いられるアレイの部分に対する比率が、全信号成分に対して実質的に一定となるように、信号成分に用いる前記アレイの部分を決する、方法。

**【請求項51】**

請求項48ないし50のいずれか1項に記載の方法において、前記高周波成分に用いる前記アレイの第2部分を、前記低周波成分には用いない、方法。

**【請求項52】**

請求項48ないし51記載のいずれか1項に記載の方法において、前記高周波成分に用いられる前記アレイの第2部分が、前記アレイ全体の平均よりも高い密度の出力変換器を含む、方法。

**【請求項53】**

請求項48ないし52のいずれか1項に記載の方法を実行するように構成された装置。

**【請求項54】**

音場を作り出す装置であって、  
出力変換器のアレイを備え、当該アレイの第1区域において、前記アレイの残りの部分よりも、前記変換器が密度高く実装されている、装置。

**【請求項55】**

請求項54記載の装置において、前記第1区域が前記アレイの実質的に中央に位置する、装置。

**【請求項56】**

請求項54または55に記載の装置において、前記第1区域内の出力変換器は、前記アレイの残り部分にある出力変換器よりも強力でない、装置。

**【請求項57】**

請求項54ないし56のいずれか1項に記載の装置において、前記第1区域内の出力変換器は、前記アレイの残り部分にある出力変換器よりも小さい、装置。

**【請求項58】**

請求項54ないし57のいずれか1項に記載の装置であって、更に、信号の高周波成分を、前記アレイの第1区域に導出するが、前記アレイの残り部分には導出しない手段を備えている、装置。

## 【請求項 59】

請求項 54 ないし 58 のいずれか 1 項に記載の装置であって、更に、信号の低周波成分を前記アレイの残り部分に導出する手段を備えている、装置。

## 【請求項 60】

直線状に互いに隣接して配置された出力変換器のアレイであって、

前記出力変換器の各々は、前記直線に対して垂直な方向の寸法が、前記直線に平行な寸法よりも大きい、アレイ。

## 【請求項 61】

請求項 60 記載のアレイにおいて、各出力変換器のアスペクト比が、前記直線に垂直な寸法の前記直線に平行な寸法に対する比率として定義されており、前記アスペクト比が少なくとも 2 : 1 である、アレイ。

## 【請求項 62】

請求項 61 記載のアレイにおいて、前記アスペクト比が少なくとも 3 : 1 である、アレイ。

## 【請求項 63】

請求項 60 ないし 62 のいずれか 1 項に記載のアレイにおいて、前記配列によって、サウンドが前記直線を含む面に実質的に集中し、前記変換器のサウンド放出側から垂直方向に離れるように延出する、アレイ。

## 【請求項 64】

それぞれのチャンネルを表す複数の入力信号が、空間内のそれぞれ異なる位置から発出するように思わせる方法であって、

前記空間位置の各々に、音響反射または共振面を設けるステップと、

前記空間位置から離れた所に出力変換器のアレイを設けるステップと、

前記出力変換器のアレイを用いて、各チャンネルの音波をそれぞれの空間位置に向けて送出し、前記音波を前記反射面または共振面によって再伝達させ、前記反射面または共振面の前方または後方の空間位置において前記音波を合焦させるステップと、

から成り、前記送出するステップが、

各変換器に関して、各入力信号を、前記それぞれの出力変換器の前記アレイにおける位置および前記それぞれのフォーカス位置に応じて選択したそれぞれの遅延量だけ遅延させて遅延複製を得て、前記チャンネルの音波を当該チャンネルに関して前記フォーカス位置に向けて送出するようにしたステップと、

各変換器に関して、各入力信号の前記それぞれの遅延複製を合計し、出力信号を生成するステップと、

前記出力信号を前記それぞれの変換器に導出するステップと、

から成る方法。

## 【請求項 65】

請求項 64 記載の方法において、各出力変換器に関して、前記入力信号の遅延複製を得る前記ステップが、

前記入力信号を前記所定回数だけ複製し、各出力変換器に関して複製信号を得るステップと、

前記それぞれの出力変換器の前記アレイにおける位置、および所望のフォーカス位置に応じて選択した前記それぞれの遅延量だけ、前記入力信号の各複製を遅延させるステップと、

から成る方法。

## 【請求項 66】

請求項 64 または請求項 65 記載の方法であって、更に、

前記遅延させるステップの前に、各入力信号の複製に対して前記それぞれの遅延量を計算するステップを含み、

当該入力信号に対して、各出力変換器とフォーカス位置との間の距離を決定し、

単一のチャンネルに対する各変換器からの音波が前記空間フォーカス位置に同時に到達する



ように、それぞれの遅延値を求めることによって計算する、方法。

【請求項 6 7】

請求項 6 4 ないし 6 6 のいずれか 1 項に記載の方法において、前記表面の少なくとも 1 つが、部屋またはその他の永続的構造の壁によって設けられる、方法。

【請求項 6 8】

それぞれのチャンネルを表す複数の入力信号が、空間内の異なるそれぞれの位置から発出するように思わせる装置であって、

前記空間位置の各々における音響反射または共振面と、

前記空間位置から離れて位置する出力変換器のアレイと、

前記出力変換器のアレイを用いて、各チャンネルの音波をそれぞれの空間位置に向けて送出し、前記音波を前記反射面または共振面によって再伝達させ、前記反射面または共振面の前方または後方の空間位置において前記音波を合焦させるようにする制御部と、

から成り、前記制御部が、

各変換器に関して、前記それぞれの出力変換器の前記アレイにおける位置および前記それぞれのフォーカス位置に応じて選択したそれぞれの遅延量だけ、各入力信号を遅延させて遅延複製を得て、前記チャンネルの音波を当該チャンネルに関して前記フォーカス位置に向けて送出するように構成された複製および遅延手段と、

各変換器に関して、各入力信号の前記それぞれの遅延複製を合計し、出力信号を生成するように構成された加算手段と、

前記出力信号を前記それぞれの変換器に導出し、前記チャンネルの音波を当該入力信号に関して、前記フォーカス位置に向けて送出するようにした手段と、

を備えている装置。

【請求項 6 9】

請求項 6 8 記載の装置において、前記制御部が、更に、

当該入力信号に対して、各出力変換器とフォーカス位置との間の距離を決定し、

単一のチャンネルに対する各変換器からの音波が前記空間フォーカス位置に同時に到達するように、それぞれの遅延値を求めることによって、

各入力信号の複製に対して前記それぞれの遅延量を計算する計算手段を備えている、装置。

【請求項 7 0】

請求項 6 8 または 6 9 に記載の装置において、前記表面は反射性であり、拡散的に反射することが望ましいサウンドの周波数の波長程度の粗さを有する、装置。

【請求項 7 1】

請求項 6 8 ないし 7 0 のいずれか 1 項に記載の装置において、前記表面が透光性である、装置。

【請求項 7 2】

請求項 6 8 ないし 7 1 のいずれか 1 項に記載の装置において、前記表面の少なくとも 1 つは、部屋またはその他の永続的構造の壁である、装置。

【請求項 7 3】

サウンドを合焦する方向を選択する方法であって、

ビューファインダまたはその他の画面手段を用いて、前記方向が所望のものであるか否かを判定を行い、前記所望の方向にビデオ・カメラの照準を向けるステップと、

入力信号の 1 組の複製に与える複数の信号遅延を計算し、サウンドを前記選択した方向に送出するステップと、から成る方法。

【請求項 7 4】

サウンドをどこに送出するか決定する方法であって、

サウンドを送出する方向に応じて、ビデオ・カメラの照準を向ける方向を自動的に調節するステップと、

ビューファインダまたはその他の画面手段から、前記カメラの照準を向けている方向を識

別するステップと、  
から成る方法。

【請求項 7 5】

請求項 7 3 または 7 4 に記載の方法において、前記サウンドが合焦し、前記カメラは、前記サウンドと同じ位置に合焦するように構成されている、方法。

【請求項 7 6】

請求項 7 3 または 7 4 に記載の方法において、室内の基準点を用いて前記サウンドを合焦する、方法。

【請求項 7 7】

音場を設定または監視する装置であって、  
出力変換器のアレイと、  
方向可変のビデオ・カメラと、  
前記出力変換器のアレイおよび前記ビデオ・カメラを制御して、前記アレイからのサウンドを送出するのと同じ方向に前記ビデオ・カメラの照準を向けるようにする手段と、  
を備えている装置。

【請求項 7 8】

請求項 7 7 に記載の装置において、前記カメラを前記アレイに取り付けた、装置。

【請求項 7 9】

請求項 7 7 または 7 8 に記載の装置において、前記サウンド・ビームは、合焦するように構成され、前記カメラは実質的に同じ地点で合焦するように構成されている、装置。

【請求項 8 0】

請求項 7 7 または 7 9 に記載の装置において、前記サウンド・ビームは、前記カメラの視野内にある基準点において合焦するように構成されている、装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、操向可能音響アンテナ (steerable acoustic antennae: ステアラブル音響アンテナ) に関し、特にデジタル電子操向可能音響アンテナに関する。

【背景技術】

【0002】

フェーズド・アレイ・アンテナは、電磁気および超音波音響分野双方において、当技術分野では周知である。これらは、余り知られてはいないが、単純な形態で、音波 (可聴) 音響分野にも存在する。これら後者は比較的未熟であり、本発明は、出力をある程度思いのままに送出するように操向可能な、極上のオーディオ音響アレイに関する改善を行おうとするものである。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

WO 96/31086 は、一元符号化 (unary coded) 信号を用いて出力変換器のアレイを駆動するシステムについて記載している。各変換器は、音圧パルスを作り出すことができ、出力する信号の全体を再生することはできない。

【課題を解決するための手段】

【0004】

本発明の第 1 の態様は、単一の出力変換器アレイによって多数のチャンネルを出力し、各チャンネルを異なる方向に向けるときに起こり得る問題に取り組む。各チャンネルが聴取者まで異なる経路を取るという事実のために、チャンネルが聴取者の位置に到達するとき、その同期が外れているのが聞こえてしまう可能性がある。

【0005】

第 1 の態様によれば、出力変換器のアレイを用いて、複数のサウンド・チャンネルから成る音場を作り出す方法が提供され、該方法は、

各チャンネル毎に、各出力変換器に関して第1遅延値を選択するステップであって、前記第1遅延値を、前記それぞれの変換器の前記アレイにおける位置に応じて選択する、ステップと、

各チャンネル毎に第2遅延値を選択するステップであって、前記第2遅延値を、前記アレイから聴取者までの、当該チャンネルの音波の予想伝搬距離に応じて選択する、ステップと、

各出力変換器に関して、各チャンネルを表す信号を遅延させた複製を得るステップであって、各遅延複製を、前記第1遅延値から成る第1成分と前記第2遅延値から成る第2成分とを有する値だけ遅延させる、ステップと、  
から成る。

#### 【0006】

また、本発明の第1の態様によれば、音場を作り出す装置が提供され、該装置は、異なるサウンド・チャンネルを表す複数のそれぞれの信号のための複数の入力と、出力変換器のアレイと、

各出力変換器に関して、各それぞれの入力信号の複製を得るように構成された複製手段と、

前記それぞれの出力変換器の前記アレイ内における位置に応じて選択したそれぞれの第1遅延値だけ、各信号の各複製を遅延するように構成された第1遅延手段と、

前記アレイから聴取者までの当該チャンネルの音波の予想伝搬距離に応じて、各チャンネル毎に選択した第2遅延値だけ、各信号の各複製を遅延させるように構成された第2遅延手段とから成る。

#### 【0007】

したがって、2種類の遅延を各サウンド・チャンネルに与え、チャンネル毎に伝搬距離が異なることによる影響を軽減する方法および装置が提供される。

#### 【0008】

本発明の第2の態様は、出力変換器のアレイをオーディオビジュアルに応用する際に発生する問題に取り組む。所望の効果を作り出すためにチャンネルに種々の遅延を与える必要がある場合が多いが、このためにサウンド・チャンネルがビデオ映像よりも著しく遅れる可能性がある。

#### 【0009】

本発明の第2の態様によれば、オーディオビジュアル・プレゼンテーションにおいて映像およびサウンド間に時間的対応付けを行い、出力変換器のアレイを用いて、複数のチャンネルから成るサウンド・コンテンツを再生する方法が提供され、該方法は、

各出力変換器に関して、サウンド・チャンネルを表す各信号の複製を、それぞれのオーディオ遅延値だけ遅延させるステップと、

時間的に対応するサウンド・チャンネルが聴取者に到達する実質的な時点に、対応するビデオ映像が表示されるように計算したビデオ遅延値だけ、ビデオ信号を遅延させるステップとから成る。

#### 【0010】

更に、本発明の第2の態様によれば、オーディオ・ビジュアル・プレゼンテーションにおいて、映像と複数のサウンド・チャンネルとの間に時間的な対応付けを行う装置が提供され、該装置は、出力変換器のアレイと、

各出力変換器に関して、サウンド・チャンネルを表す各信号を遅延させた複製を得るように構成された複製および遅延手段と、

時間的に対応するサウンド・チャンネルが聴取者に到達する実質的な時点に、対応するビデオ映像が表示されるように計算したビデオ遅延値だけ、ビデオ信号を遅延させるように構成されたビデオ遅延手段と、  
を備えている。

#### 【0011】

したがって、本発明のこの態様は、ビデオおよびサウンド・チャンネルが正しい時刻に（即

ち、互いに時間的に対応して) 視聴者に到達することを可能にする。

【0012】

本発明の第3の態様は、サウンド・チャンネルが異なると内容も異なる場合があり、したがってサウンド・チャンネルを表す個々のいずれのビームが達成すべき指向性に関しても異なる要求があるという問題に取り組む。

【0013】

このために、本発明の第3の態様では、出力変換器のアレイを用いて、複数のサウンド・チャンネルから成る音場を作り出す方法が提供され、該方法は、  
チャンネル毎に、各出力変換器に関して、前記チャンネルを表す信号の複製を得て、チャンネル毎に1組の複製信号を得るステップと、  
第1サウンド・チャンネル信号から発現した第1組の複製信号に第1ウィンドウ関数を適用するステップと、  
第2サウンド・チャンネル信号から発現した第2組の複製信号に、異なる第2ウィンドウ関数を適用するステップとから成る。

【0014】

更に、本発明の第3の態様によれば、複数のサウンド・チャンネルから成る音場を作り出す装置が提供され、該装置は、  
出力変換器のアレイと、  
各出力変換器に関して、前記複数のチャンネルの各々を表す信号の複製を作成する複製手段と、  
第1サウンド・チャンネル信号から発生した第1組の複製信号に第1ウィンドウ関数を適用し、第2チャンネル信号から発生した第2組の複製信号に、異なる第2ウィンドウ関数を適用するウィンドウ手段とを備えている。

【0015】

したがって、この態様では、異なるウィンドウ関数を異なるサウンド・チャンネルに適用することができるので、一層望ましい音場が得られ、各サウンド・チャンネルの音量を独立して調節することが容易になる。

【0016】

本発明の第4の態様は、低周波数を送出するには大きなアレイが必要であり、一方高周波数を同じ精度で送出手には、それよりも小さいアレイで可能であるという問題に取り組む。更に、低周波数は、高周波数よりも大きな電力を必要とする。

【0017】

本発明の第4の態様によれば、出力変換器のアレイを用いて音場を作り出す方法が提供され、該方法は、  
入力信号を、少なくとも低周波成分と高周波成分に分割するステップと、  
前記アレイの第1部分に及ぶ出力変換器を用いて、前記低周波成分を出力するステップと、  
前記第1部分よりも小さい前記アレイの第2部分に及ぶ出力変換器を用いて、前記高周波成分を出力するステップとから成る。

【0018】

更に、本発明の第4の態様によれば、音場を作り出す装置が提供され、  
出力変換器のアレイを備え、当該アレイの第1区域において、前記アレイの残りの部分よりも、前記変換器が密度高く実装されている。

【0019】

したがって、この態様では、効率的な数の出力変換器を用いて、所望の指向性であらゆる周波数を出力することが可能となる。

【0020】

本発明の第5の態様は、実質的に所望の平面内にサウンドを送出可能なアレイの効率的な構成に関する。

【0021】

本発明の第5の態様によれば、直線状に互いに隣接して配置された出力変換器のアレイが提供され、前記出力変換器の各々では、前記直線に対して垂直な方向の寸法が、前記直線に平行な寸法よりも大きくなっている。

#### 【0022】

前述の構成は、サウンドがアレイの前方に水平に延びる平面に主に集中するので、特に有用である。ある面への集中は、個々の変換器が細長い状態であることによって達成され、指向性は、アレイ内の複数の変換器によって達成される。

#### 【0023】

本発明の第6の態様は、ユーザの望みに応じて、反射面または共振面を用いて、規定の位置に狭いビームまたは広いビームを送出させるという要望に取り組む。

#### 【0024】

本発明の第6の態様によれば、それぞれのチャンネルを表す複数の入力信号が、空間内のそれぞれ異なる位置から発出するように思わせる方法が提供され、該方法は、  
前記空間位置の各々に、音響反射または共振面を設けるステップと、  
前記空間位置から離れた所に出力変換器のアレイを設けるステップと、  
前記出力変換器のアレイを用いて、各チャンネルの音波をそれぞれの空間位置に向けて送出し、前記音波を前記反射面または共振面によって再伝達させ、前記反射面または共振面の前方または後方の空間位置において前記音波を合焦させる (focussed) ステップと、  
から成り、前記送出するステップが、  
各変換器に関して、各入力信号を、前記それぞれの出力変換器の前記アレイにおける位置および前記それぞれのフォーカス位置 (focus position) に応じて選択したそれぞれの遅延量だけ遅延させて遅延複製を得て、前記チャンネルの音波を当該チャンネルに関して前記フォーカス位置に向けて送出するようにしたステップと、  
各変換器に関して、各入力信号の前記それぞれの遅延複製を合計し、出力信号を生成するステップと、  
前記出力信号を前記それぞれの変換器に導出するステップとから成る。

#### 【0025】

更に、本発明の第6の態様によれば、それぞれのチャンネルを表す複数の入力信号が、空間内の異なるそれぞれの位置から発出するように思わせる装置が提供され、該装置は、  
前記空間位置の各々における音響反射または共振面と、  
前記空間位置から離れて位置する (distal) 出力変換器のアレイと、  
前記出力変換器のアレイを用いて、各チャンネルの音波をそれぞれの空間位置に向けて送出し、前記音波を前記反射面または共振面によって再伝達させ、前記反射面または共振面の前方または後方の空間位置において前記音波を合焦させるようにする制御部と、  
から成り、前記制御部が、  
各変換器に関して、各入力信号を、前記それぞれの出力変換器の前記アレイにおける位置および前記それぞれのフォーカス位置に応じて選択したそれぞれの遅延量だけ遅延させて遅延複製を得て、前記チャンネルの音波を当該チャンネルに関して前記フォーカス位置に向けて送出するように構成された複製および遅延手段と、  
各変換器に関して、各入力信号の前記それぞれの遅延複製を合計し、出力信号を生成するように構成された加算手段と、  
前記出力信号を前記それぞれの変換器に導出し、前記チャンネルの音波を当該入力に関して、前記フォーカス位置に向けて送出するようにした手段とを備えている。

#### 【0026】

本発明の第6の態様によって、反射器／共振器の後方または前方に選択された集束位置に応じて、狭いビームまたは広いビームを再伝達することが可能となる。

#### 【0027】

本発明の第7の態様は、サウンドがどこに送出または合焦されるか正確に判定するのが困難となる可能性があり、サウンドが送出または合焦される場所を操作者に制御させる (フィードバックによって) 直感的な方法が求められているという問題に取り組む。

## 【0028】

本発明の第7の態様によれば、サウンドを合焦する方向を選択する方法が提供され、該方法は、ビューファインダまたはその他の画面手段を用いて、前記方向が所望のものであるか否かを判定を行い、前記所望の方向にビデオ・カメラの照準を向けるステップと、入力信号の1組の複製に与える複数の信号遅延を計算し、サウンドを前記選択した方向に送出するステップとから成る。

## 【0029】

更に、本発明の第7の態様によれば、サウンドをどこに送出するか決定する方法が提供され、該方法は、サウンドを送出する方向に応じて、ビデオ・カメラの照準を向ける方向を自動的に調節するステップと、ビューファインダまたはその他の画面手段から、前記カメラの照準を向けている方向を識別するステップとから成る。

## 【0030】

更に、本発明の第7の態様によれば、音場を設定または監視する装置が提供され、出力変換器のアレイと、方向可変のビデオ・カメラと、前記出力変換器のアレイおよび前記ビデオ・カメラを制御して、前記アレイからのサウンドを送出するのと同じ方向に前記ビデオ・カメラの照準を向ける (point) ようにする手段とを備えている。

## 【0031】

したがって、本発明の第7の態様では、ユーザが直感的かつ容易に、サウンドを送出する所を決定することができる。

## 【0032】

一般に、本発明は、二次元アレイに配列され複数の空間的に分散された音波電気音響変換器 (sonic electroacoustic transducers: SET) を備え、各々が入力信号分配器を介して同じデジタル信号入力に接続されており、各SETに供給する前に入力信号を修正し、所望の指向性効果を得る、好ましくは完全にデジタルの操向可能音響フェーズド・アレイ・アンテナ (デジタル・フェーズド・アレイ・アンテナ、またはDPAA) システムに適用可能である。

ここに備わっている種々の可能性、および実際に好ましい変形は、以下の記載から見て取れよう。

## 【0033】

SETは、空間にランダムに配置されるよりも、平面または曲面 (表面) (a plane or curved surface (a Surface)) 内に配列する方が好ましい。しかしながら、これらは、2つ以上の隣接するサブアレイ前後に位置する2つ以上の密接した平行な平面または曲面の二次元スタックの形態としてもよい。

ある表面 (Surface) 内において、アレイを構成するSETは、狭い間隔で配されていることが好ましく、アンテナ・アパーチャ全体を完全に満たしていることが理想的である。これは、実際の断面円形のSETでは非現実的であるが、断面が三角形、正方形または六角形のSET、即ち、一般に当該平面を覆う断面形状であればいずれでも、達成可能である。SETの断面が平面を覆えない場合、アレイをスタックまたは複数のアレイの形態、即ち、三次元状にすることにより、アパーチャ充填に類する近似を行うことができる。この場合、SETの少なくとも1つの追加表面 (Surface) を、少なくとも1つの別のこのような表面 (Surface) の後ろに実装し、前述のまたは各後方のアレイにおけるSETは、前方の (複数の) アレイにおけるギャップ間に放射する。

## 【0034】

SETは、同様であることが好ましく、同一であることが理想的である。これらは、勿論、音響、即ち、オーディオ・デバイスであり、恐らくは低い側で20Hz (または、これ

未満)から、高い側で20KHz以上(可聴帯域)までの可聴帯域全域を均一に覆うことができるのが最も好ましい。あるいは、異なる音響能力を有するが、一体となって所望の範囲全体を覆うSETを用いることができる。このように、多数の異なるSETを物理的に集合化し、複合SET(CSET)を形成することができ、個々のSETでは不可能であっても、異なるSETのグループが一体となって可聴帯域を覆うことができる。更に別の変形として、各々部分的に可聴帯域を覆えるに過ぎないSETを集合化せずに、代わりにアレイ全体として可聴帯域を完全にまたはほぼ完全に覆うようにSET間に十分な変化を持たせて、アレイ全域に散乱させることもできる。

#### 【0035】

CSETの代わりの形態では、数個(通例では2個)の同じ変換器を内蔵し、各々を同じ信号によって駆動する。これによって、必要な信号処理および駆動用電子回路の複雑さを低減しつつ、大型DPAAの利点の多くを保持する。以後CSETの位置について言及する場合、この位置はCSET全体としての重心、即ち、CSETを構成する個々のSET全ての重心であると理解することとする。

#### 【0036】

表面(Surface)内では、SETまたはCSET(以後、2つを単にSETで示すことにする)の間隔、即ち、アレイの全体的レイアウトおよび構造、ならびに個々の変換器をその中に配置する方法は、規則的であることが好ましく、面全域におけるそれらの分散は、対称的であることが望ましい。したがって、SETは、三角形、正方形または六角形の格子状に離間することが最も好ましい。格子の種類および方位は、サイドローブの間隔および方向を制御するよう選択することができる。

#### 【0037】

必須ではないが、各SETは、効果的に放射(または受信)することができる全音波長において、少なくとも半球では無指向性入出力特性を有することが好ましい。

#### 【0038】

各出力SETは、都合の良い形態または所望の形態であれば、いずれのサウンド放射デバイスの形態でも取ることができ(例えば、従来のラウドスピーカ)、これらは全て同一であることが好ましいが、これらは異なっていることも可能である。ラウドスピーカは、ピストニック音響放射器(piston acoustic radiator)として知られている形式(変換器のダイヤフラムをピストンによって移動させる)とするとよく、このような場合、個々のSETのピストン放射器の最大放射範囲(例えば、円形SETの場合有効なピストンの直径)は、できるだけ小さいことが好ましく、可聴帯域における最も高い周波数の音響波長と同じくらい、またはこれよりも小さいことが理想的である(例えば、空中では、20KHz音波の波長は約17mmであるので、円形ピストン変換器では、最大直径は約17mmが好ましく、無指向性を確保するためには、サイズはこれよりも小さいことが好ましい。

#### 【0039】

アレイの平面におけるSETの前記または各アレイの全体的寸法は、アレイの極放射パターンに大きく作用することを意図した最低周波数の空中における音響波長と同じくらい、またはこれよりも大きく選択することが非常に好ましい。したがって、300Hz程度の低い周波数を発射即ち操向できることが望ましい場合、アレイ・サイズは、操向または発射が要求される各面に対して直角の方向で、少なくとも $c_s/300 \approx 1.1$ メートル( $c_s$ は音速である)とするとよい。

#### 【0040】

本発明は、完全デジタル操向音波/可聴音響フェーズド・アレイ・アンテナ・システムに適用することができ、実際の変換器はアナログ信号によって駆動することができるが、これらをデジタル電力増幅器で駆動することが最も好ましい。典型的なこのようなデジタル電力増幅器は、PCM信号入力、クロック入力(または入力PCM信号からクロックを求める手段)、内部で発生するかあるいは入力クロックまたは追加の出力クロック入力から求める出力クロック、ならびにデジタル(PCM)信号またはアナログ信号のい

ずれでもよい、オプションの出力レベル入力（後者の場合、このアナログ信号は増幅器出力にも電力を供給することもできる）を組み込んでいる。ディジタル電力増幅器の特性の1つとして、あらゆるオプションのアナログ出力フィルタ処理の前に、その出力に離散値を与え、段階的に連続とし、出力クロック周期と一致する間隔でのみレベル変更が可能であることがあげられる。離散出力値は、オプションの出力レベル入力が設けられる場合は、これによって制御される。PWMを用いたディジタル増幅器では、入力サンプル周期のいずれの整数倍においても、出力信号の平均値は入力信号を表す。他のディジタル増幅器では、出力信号の平均値は、入力サンプル周期よりも長い期間では、入力信号の平均値に向かう傾向がある。ディジタル電力増幅器の好ましい形態には、バイポーラ・パルス幅変調器、および1ビット二値変調器が含まれる。

#### 【0041】

ディジタル電力増幅器を用いることによって、殆どのいわゆる「ディジタル」システムにおいて見られる、各変換器駆動チャンネル毎に、ディジタル／アナログ変換器（DAC）および線形電力増幅器を設けるという、より共通な要求を回避し、したがって電力駆動効率を非常に高くすることができる。更に、殆どの可動コイル型音響変換器は本来誘導的であり、機械的にはロー・パス・フィルタとして非常に効果的に作用するので、精巧な電子ロー・パス・フィルタ処理をディジタル駆動回路とSETとの間に追加する必要がない場合もある。言い換えると、SETはディジタル信号によって直接駆動することができる。

#### 【0042】

DPAAは、1つ以上のディジタル入力端子（入力）を有する。1つよりも多い入力端子がある場合、各入力信号を個々のSETに導出する手段を設ける必要がある。

#### 【0043】

これは、入力の各々を、1つ以上の入力信号分配器を介してSETの各々に接続することによって行うとよい。最も基本的には、入力信号を単一の分配器に供給し、この単一の分配器が、SETの各々に対して別個の出力を有する（そして、以下で論ずるように、これが出力する信号を適切に修正し、所望の目的を達成する）。あるいは、同様の分配器をある数だけ備え、各々が入力信号またはその一部、あるいは別個の入力信号を取り込み、各々が別個の出力をSETの各々に供給する（そして、各場合において、それが出力する信号は、以下で論ずるように、分配器によって適切に修正され、所望の目的を達成する）。この後者の場合、複数の分配器が各々全てのSETに供給するが、各分配器からいずれの1つへのSETへの出力も組み合わせなければならず、得られる信号に更に修正を行う前に、加算回路によってこれを行うと都合が良い。

#### 【0044】

入力端子は、DPAAが処理するサウンドまたは複数のサウンドを表す1つ以上のディジタル信号（入力信号）を受けけることが好ましい。勿論、放射するサウンドを規定する元の電気信号は、アナログ形態でもよく、したがって、本発明のシステムは、1つ以上のアナログ／ディジタル変換器（ADC）を含むことができ、これらの各々を補助アナログ入力端子（アナログ入力）と入力1つとの間に接続することによって、これら外部アナログ電気信号の内部ディジタル電気信号への変換を可能とする。各ディジタル電気信号は、特定の（そして適切な）サンプル・レート $F_s$

を有する。したがって、DPAA内部においては、入力以降では、処理される信号は、時間サンプルされた量子化ディジタル信号であり、DPAAによって再生されるサウンド波形または複数の波形を表す。

#### 【0045】

本発明のDPAAは、分配器を組み込んでおり、これが入力信号を修正した後に、各SETに供給することにより、所望の指向性効果を達成している。分配器は、ディジタル・デバイス、またはソフトウェア（piece of software）であり、1つの入力および多数の出力を有する。DPAAの入力信号の1つは、その入力に供給される。これは、SET毎に1つの出力を有することが好ましく、あるいは、1つの出力を多数のSETまたはCSETのエレメントで共有することができる。分配器は、入力信号に全体的に異なる修正を行ったものをその出力の各々に送る。修正は、固定とするか、または制御システムを用いて



調整可能とすることもできる。分配器によって行われる修正は、信号遅延を与えること、振幅制御を適用すること、および調節可能にデジタル的にフィルタ処理を行うことを含むことができる。これらの修正は、単一の遅延手段（SDM）、振幅制御手段（ACM）、および可調節デジタル・フィルタ（ADF）によって行うとよく、これらはそれぞれ分配器内部に配置されている。尚、ADFは、フィルタ係数の適切な選択によって、信号に遅延を与えるように構成可能であることを注記しておく。更に、この遅延は、周波数依存性として行うことができ、入力信号の異なる周波数を異なる量だけ遅延させるようにすれば、フィルタは、この信号のいずれの数のこのような遅延バージョンの合計の効果でも生成することができる。「遅延」または「遅延させた」という用語は、ここで用いる場合、ADFおよびSDMによって与えられる形式の遅延を含むものとして解釈することとする。遅延は、ゼロを含むあらゆる有用な期間とすることができるが、一般に、少なくとも1つの複製入力信号は非ゼロ値だけ遅延される。

#### 【0046】

信号遅延手段（SDM）は、可変デジタル信号時間遅延エレメントである。これらは、単一の周波数や狭周波数帯域の移相エレメントではないが、真の時間遅延であるので、DPAAは広い周波数帯域（例えば、可聴帯域）全域で動作する。所与の入力端子と各SETとの間で遅延を調節する手段があるとよく、入力／SETの組み合わせ毎に別個に調節可能な遅延エレメントがあると効果的である。

#### 【0047】

所与のデジタル信号に対して可能な最少遅延は、当該信号のサンプル周期 $T_s$ と同等またはこれ以下であることが好ましく、所与のデジタル信号に対して可能な最大遅延は、音が変換器アレイの最も大きな横方向範囲 $D_{max}$ を横切って交差するのに要する時間 $T_c$ と同程度またはそれ以上となるように選択することが好ましい。ここで、 $T_c = D_{max} / c_s$ であり、 $c_s$ は空気中における音速である。最も好ましくは、所与のデジタル信号に可能な遅延の最少増分変化を $T_s$ 、信号のサンプル周期以下とすべきである。さもないと、信号の補間が必要となる。

#### 【0048】

振幅制御手段（ACM）は、一括ビーム形状修正（gross beam shape modification）の目的で、デジタル振幅制御手段として実施すると都合が良い。これは、増幅器または交流電源（alternator）を備えれば、出力信号の大きさを増大または減少することができる。SDMと同様、入力／SETの組み合わせ毎に可調節ACMがあることが好ましい。振幅制御手段は、分配器からの各信号出力に異なる振幅制御を適用し、DPAAが有限サイズであるという事実に対して、ウィンドウ関数を用いることによって、対抗するように構成することが好ましい。これは、ガウス曲線またはかさ上げ余弦曲線のような既定の曲線に応じて、各出力信号の大きさを正規化することによって行うと都合が良い。このように、全体的には、アレイの中央付近にあるSETに宛てられる出力信号は大きな影響を受けないが、アレイの周囲付近にあるSETは、これらがアレイのエッジに対する近接度に応じて減衰される。

#### 【0049】

信号を修正する別の方法では、用いられるデジタル・フィルタ（ADF）は、その群遅延および大きさの応答が、周波数の関数として、（単純な時間遅延またはレベル変化だけではなく）指定された方法で変化する。単純な遅延エレメントを用いてこれらのフィルタを実現し、必要な計算を削減するようにしてもよい。この手法では、DPAA放射パターンを制御し、周波数の関数として行うことが可能となり、異なる周波数帯域において別個に、DPAA放射パターンを調節することが可能となる（これは、DPAA放射区域の波長のサイズ、したがってその指向性が、別の状況では強い周波数の関数となるので、有用である）。例として、範囲が例えば2mのDPAAでは、その低周波数カットオフ（指向性のため）は、150Hz領域周辺であり、人間の耳では、このような低周波数のサウンドの指向性を判断するのが難しいので、このような低周波数では、「ビーム操向」遅延や振幅重み付けを適用せず、代わりに、最適出力レベルを求める方が、一層有用であ

ると言える。加えて、フィルタの使用によって、各SETの放射パターンのばらつきをいくらか補償することも可能である。

#### 【0050】

SDM遅延、ACM利得およびADF係数は、固定としたり、あるいはユーザ入力に応答して変化させたり、または自動制御の下で変化させることができる。好ましくは、チャンネルが使用中に必要な変化はいずれも、多くの小さな刻み幅で行い、不連続性が聞かれないようにする。これらの刻み幅は、パラメータがいかに素早く変化することができるかを記述する、所定の「ロールオフ」および「アタック」レートを規定するように選択することができる。

#### 【0051】

1つよりも多い入力が生供給される場合、即ち、1からIまで付番されたI個の入力がある場合、そして、1からNまで付番されたN個のSETがある場合、個別に調節可能な別個の遅延、振幅制御および／またはフィルタ手段 $D_{in}$ （ここで、I個の入力の各々とN個のSETの各々との間で、 $I=1\sim I$ 、 $n=1\sim N$ である）を各組み合わせ毎に設けることが好ましい。したがって、各SET毎に、入力の各々から別個の分配器を介して1つずつ、I個の遅延した、即ち、フィルタ処理したデジタル信号があり、SETに印加される前に組み合わせる。全体的に、N個の別個のSDM、ACMおよび／またはADFが各分配器にあり、各SET毎に1つの分配器がある。先に注記したように、このデジタル信号の組み合わせを行うには、I個の別個の遅延信号のデジタル的代数加算を用いると都合が良い。即ち、各SETへの信号は、I個の入力各々からの、別個に修正した信号の線形組み合わせである。1つよりも多くの入力から発した信号のデジタル加算の実行が必要であるということは、異なるクロック・レートおよび／または位相で2つ以上のデジタル信号に対してデジタル加算を実行することは一般には無意味なので、これら外部信号を同期させるためには、デジタル・サンプリング・レート変換器(DSRC)を用いる必要があり得ることを意味する。

#### 【0052】

DPAAシステムは、ある距離を隔てて（理想的には、DPAAの聴取区域内のどこかから）DPAA電子回路と通信し（ワイヤ、無線または赤外線、あるいはその他の何らかのワイヤレス技術によって）、DPAAの主要機能全てで手動制御が行える遠隔制御子機（子機）と共に用いてもよい。このようなシステムは、以下の機能を備えることが最も有用である。

- 1) どの入力（複数の入力）をどの分配器に接続するかという選択、「チャンネル」と呼ぶこともできる。
- 2) 各チャンネルの集束位置および／またはビーム形状の制御
- 3) 各チャンネルに対する個々の音量レベル設定値の制御、および
- 4) 内蔵マイクロフォンを有する子機を用いた初期パラメータ設定（後述を参照）。

#### 【0053】

また、

2つ以上のこのようなDPAAを相互接続し、これらの放射パターン、これらの集束、およびこれらの最適化手順を調整する手段と、

（DDGに対する）遅延および（ADFに対する）フィルタ係数の組を格納し、呼び出す手段と、  
があってもよい。

#### 【0054】

添付した構成図を参照して、単に非限定的な例として本発明について更に説明する。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【0055】

以下に提示する記載および図面は、必然的にブロック図を用いて本発明について説明し、各ブロックは、ハードウェア・コンポーネントまたは信号処理ステップを表す。原理的には、本発明は、各ステップを実行するように別個の物理的コンポーネントを構成し、図示

のようにこれらを相互接続することによって実現することができる。ステップの内いくつかは、専用のまたはプログラム可能な集積回路を用い、可能であれば数個のステップを1つの回路に組み込むことによって、実施することができる。尚、実際には、デジタル信号プロセッサ(DSP)または汎用マイクロプロセッサを用いて、信号処理ステップのいくつかをソフトウェアで実行することが最も便利である可能性が高いことは理解されよう。次いで、別個のプロセッサまたはマイクロプロセッサを共有する別個のソフトウェア・ルーチンによって、連続するステップを実行することができ、またはこれらを1つのルーチンに組み込むことによって効率を高めることもできる。

#### 【0056】

図面は、オーディオ信号経路を概略的に示すに過ぎず、クロックおよび制御接続は、考えを伝えるために必要なとき以外は、明瞭化のために省略されている。更に、少数のSET、チャネル、およびこれらと連携する回路のみを示すが、これは、現実的に多数の要素を含ませると、図面が煩雑になり解釈が困難となるからである。

#### 【0057】

本発明のそれぞれの態様について説明する前に、それぞれの態様のいずれに応じた使用にも適した装置の実施形態について説明することは有用である。

#### 【0058】

図1のブロック図は、単純なDPAAを示す。入力信号(101)は分配器(102)に供給され、その多数(図では6つ)の出力が、各々、オプションの増幅器(103)を介して出力SET(104)に接続する。出力SETは、物理的に二次元アレイ(105)を形成するように配列されている。分配器は、各SETに送られる信号を修正し、所望の放射パターンを生成する。以下で例示するが、分配器の前または後に、追加の処理ステップを設けてもよい。

#### 【0059】

図2は、2つの入力信号(501、502)および3つの分配器(503~505)を有するDPAAを示す。分配器503は信号501を処理し、一方504および505双方が入力信号502を処理する。各SETに宛てた各分配器からの出力は、加算器(506)によって加算され、増幅器103を介してSET104に達する。

#### 【0060】

図3は、分配器のコンポーネントを示す。これは、入力回路から来る単一の入力信号(101)と、各SETまたはSET群に1つずつの多数の出力(802)とを有する。入力から出力の各々までの経路には、SDM(803)および/またはADF(804)および/またはACM(805)が含まれる。各信号経路において行われる修正が同様であれば、信号を分割する前に共通のSDM、ADFおよび/またはACM(806~808)を含むことによって、より効率的に分配器を実施することができる。各分配器の部品の各々のパラメータは、ユーザまたは自動制御の下で変更することができる。これに必要な制御接続は、示されていない。

#### 【0061】

図4は、可能な電力増幅器の構成を示す。1つの選択肢では、恐らくは分配器または加算器からの入力デジタル信号(1001)は、DAC(1002)、およびオプションの利得/音量制御入力(1004)を備えた線形電力増幅器(1003)を通過する。出力は、SETまたはSET群(1005)に送られる。2つのSETフィード(SET feeds)について例示した場合の好適な構成では、入力(1006)はオプションの包括的音量制御入力(global volume control input)(1008)を備えたデジタル増幅器(1007)に直接送られる。包括的音量制御入力は、出力駆動回路に対する電源としても機能することができ便利である。離散値を取るデジタル増幅器の出力には、SET(1005)に達する前に、アナログのロー・パス・フィルタ(1009)を通すという選択肢もある。

#### 【0062】

図5は、3つのDPAA(1401)の相互接続を示す。この場合、入力(1402)、

入力回路（1403）および制御システム（1404）は、3つのPDAA全てによって共有される。入力回路および制御システムは、別個に収容することも、DPAAの1つに組み込んで、他方がスレーブとして動作することも可能である。あるいは、3つのDPAAを同一とし、スレーブDPAA内の冗長回路のみをインアクティブとすることも可能である。この設定によって電力増大が可能となり、アレイを並置する場合、低周波において指向性が向上する。

#### 【0063】

図6および図7Aないし図7Dの装置は、図1に示す一般的な構造を有する。図6は、好ましい分配器（102）を更に詳細に示す。

#### 【0064】

図6からわかるように、入力信号（101）は、入力端子（1514）によって、リプリケータ（1504）に導出される。リプリケータ（1504）は、入力信号を所定回数コピーし、同じ信号を前記所定数の出力端子（1518）に供給する機能を有する。次に、入力信号の各複製は、複製を修正する手段（1506）に供給される。概略的に、複製を修正する手段（1506）は、信号遅延手段（1508）、振幅制御手段（1510）、および可調節デジタル・フィルタ手段（152）を含む。しかしながら、振幅制御手段（1510）は純粋にオプションであることを注記しておく。更に、信号遅延手段（1508）および可調節デジタル・フィルタ（1512）の一方または他方も、取り除いてもよい。複製を修正する手段（1506）の最も基本的な機能は、ある意味では異なる複製を全て異なる量だけ遅延させて供給することである。出力変換器（104）が入力信号（101）を様々に遅延させて出力する際に得られる音場を決定するのは、遅延の選択である。遅延され好ましくはそれ以外にも修正された複製は、出力端子（1516）を介して分配器（102）から出力される。

#### 【0065】

既に述べたように、各信号遅延手段（1508）および／または各可調節デジタル・フィルタ（1512）によって得られるそれぞれの遅延の選択は、得られる音場の様式に重大な影響を及ぼす。一般に、4つの特に有効な音場があり、これらを線形に組み合わせることができる。

#### 【0066】

##### 第1の音場

図7Aに第1の音場を示す。

種々の出力変換器（104）から成るアレイ（105）を平面図で示す。図示した列の上または下に、別の出力変換器の列を配置してもよい。

#### 【0067】

種々の信号遅延手段（508）によって各複製に与えられた遅延は、同じ値、例えば、0（図示のような平面アレイの場合）、または表面形状の関数となる値（曲面の場合）に設定される。これによって、入力信号（101）を表すサウンドの大まかに平行な「ビーム」が生成される。これは、アレイ（105）に平行な波頭Fを有する。ビームの方向（波頭に垂直）における放射は、他の方向よりもはるかに強いが、一般には「サイド・ローブ」もある。アレイ（105）は、対象のサウンド周波数において1波長または数波長の物理的範囲（extent）を有すると仮定する。この事実は、必要であれば、ACMまたはADFの調節によって、サイド・ローブを全体的に減衰または移動可能であることを意味する。

#### 【0068】

動作モードは、一般に、アレイ（105）が非常に大きな従来のラウドスピーカを模擬する1つと考えてもよい。アレイ（105）の個々の変換器（104）は、全て同相で動作し、主方向がアレイの平面に対して垂直な対称的ビームを生成する。得られる音場は、直径Dを有する単一の大型ラウドスピーカを用いた場合に得られるものと非常に類似している。

#### 【0069】

## 第2音場

第1音場は、より一般的な第2音場の具体的な例と考えることもできる。

ここでは、信号遅延手段(1508)または可調節デジタル・フィルタ(1512)によって各複製に与えられる遅延は、アレイの表面を横切るある選択された方向に変換器(104)間で系統的に遅延が増大するように、変化させている。これを図7Bに示す。種々の信号がそれぞれの出力変換器(104)に導出される前にこれらに与えられる遅延は、図7Bでは、変換器の後ろ側に延びる点線によって視覚化することができる。点線が長い程、長い遅延時間を表す。一般に、点線と実際の遅延時間との間の関係は、 $d_n = t_n * c$ であり、 $d$ は点線の長さを表し、 $t$ はそれぞれの信号に与えられる遅延量を表し、 $c$ は空中における音速を表す。

### 【0070】

図7Bからわかるように、出力変換器に与えられる遅延は、図7Bにおいて左から右に向かう程線形的に増大する。したがって、変換器(104a)に導出される信号には実質的に遅延はなく、このためアレイから出射する最初の信号となる。変換器(104b)に導出される信号には小さい遅延が与えられるので、この信号は2番目にアレイから出射する。変換器(104c、104d、104e等)に与えられる遅延は連続的に増大するので、隣接する変換器の出力間には固定の遅延がある。

### 【0071】

このような一連の遅延によって、第1音場に生成されたものと同様の、大まかに平行なサウンドの「ビーム」が生成されるが、ここでは、用いられた系統的遅延増大量に応じた量だけビームが角度をなすことが相違する。非常に小さな遅延( $t_n \ll T_c, n$ )では、ビームの方向は、アレイ(105)に対してほぼ直交し、遅延を大きくすると( $\max t_n \sim T_c$ 、表面に対してほぼ接線方向となるように導くことができる。

### 【0072】

既に説明したように、各変換器からの音波の同じ時間的部分(同じ情報を表す音波の部分)が共に特定の方向に伝搬する波頭Fを形成するように遅延を選択することによって、音波を合焦する(focussing)ことなく送出することができる。

### 【0073】

分配器によってアレイの縁端付近に位置するSETに与えられる信号の振幅を(アレイの中心付近にあるSETに与えられる振幅に対して)縮小することによって、放射パターンにおけるサイド・ローブ(有限のアレイ・サイズによる)のレベルを低下させることができる。例えば、ガウス型またはかさ上げ余弦曲線を用いて、各SETからの信号の振幅を決定することができる。有限のアレイ・サイズの影響に対する調節と、外側のSETにおいて振幅を縮小することによる電力減少との間で、トレードオフを達成する。

### 【0074】

## 第3音場

信号遅延手段(1508)および/または適応デジタル・フィルタ(1512)によって与えられる信号遅延を選択する際、当該SET(104)からDPAA前方の空間において選択した地点までのサウンド伝搬時間に遅延を加えた合計が、全てのSETに対して同じ値になるようにすると、即ち、出力変換器の各々からの音波が選択地点において同相サウンドとして到達するようにすると、DPAAにその点Pにおいてサウンドを合焦させるようにすることができる。これを図7Cに示す。

### 【0075】

図7Cからわかるように、この場合も出力変換器(104aないし104h)の各々において与えられる遅延は増大するが、この場合は線形ではない。これによって、曲線状の波頭Fが発生し、これはフォーカス点(focus point)において収束(converge)するので、この焦点およびその周囲(サウンドのスペクトル成分の各々の波長にほぼ等しい寸法の領域)におけるサウンドの強度は、近隣の他の地点におけるよりもかなり高くなる。

### 【0076】

合焦する音波を得るために必要な計算は、次のように一般化することができる。

【数1】

$$\text{焦点 (focal point) 位置ベクトル} \quad \mathbf{f} = \begin{bmatrix} f_x \\ f_y \\ f_z \end{bmatrix}$$

【数2】

$$n \text{ 番目の変換器の位置} \quad \mathbf{p}_n = \begin{bmatrix} p_{nx} \\ p_{ny} \\ p_{nz} \end{bmatrix}$$

【数3】

$$n \text{ 番目の変換器に対する移動時間} \quad t_n = \frac{1}{c} \sqrt{(\mathbf{f} - \mathbf{p}_n)^T (\mathbf{f} - \mathbf{p}_n)}$$

【数4】

$$\text{各変換器に必要な遅延} \quad d_n = k - t_n$$

ここで、 $k$  は、全ての遅延が正でありしがつて確実に実現可能とするための一定のオフセットである。

【0077】

焦点位置は、前述のように1組の遅延を適切に選択することによって、DPAAの前方であれば殆どどこにでも、広範囲にわたって変更することもできる。

【0078】

#### 第4音場

図7Dは、各出力変換器に導出される信号に与えられる遅延を決定するために更に別の理論を用いる場合の、第4音場を示す。この実施形態では、ホイヘンスのウェーブレット理論を呼び出して、見かけ上の原点 $O$ を有する音場をシミュレートする。これを行うには、信号遅延手段(1508)または適応デジタル・フィルタ(1512)によって得られる信号遅延を、アレイ後部の空間における地点からそれぞれの出力変換器までのサウンド伝搬時間に等しくなるように設定する。これらの遅延は、図7Dでは、点線で示されている。

【0079】

図7Dから、シミュレートした原点位置に最も近く位置する出力変換器は、原点位置から離れて位置する変換器よりも前に信号を出力することがわかる。変換器の各々から射出される波によって形成される干渉パターンが音場を作り出し、これが、アレイ前方の近場にいる聴取者には、シミュレートした原点から発するように思える。

【0080】

図7Dに半球状の波頭を示す。これらを合計して得られる波頭 $F$ は、疑似原点において発した場合に波頭が有するのと同じ曲率および移動方向を有する。こうして、真の音場が得られる。遅延を計算するための式は、ここでは、次のようになる。

【数5】

$$d_n = t_n - j$$

ここで、 $t_n$ は、第3実施形態において定義しており、 $j$ は任意のオフセットである。

#### 【0081】

したがって、ここで利用した一般的な方法では、リプリケータ（1504）を用いてN個の複製信号を得る。N個の出力変換器の各々に1つずつとする。次に、これら複製の各々を、アレイ内のそれぞれの出力変換器の位置、および得られる効果の双方に応じて選択したそれぞれの遅延量だけ（恐らくはフィルタを用いて）遅延させる。次いで、遅延した信号をそれぞれの出力変換器に導出し、該当する音場を作り出す。

#### 【0082】

好ましくは、分配器（102）は、別個の複製および遅延手段を備え、信号を複製し、各複製に遅延が与えられるようにする。しかしながら、他の構成も本発明には含まれており、例えば、N個のタップを備えた入力バッファを用い、タップの位置によって遅延量を決定するようにしてもよい。

#### 【0083】

以上説明したシステムは線形であるので、単純に必要な遅延信号を特定の出力変換器のために互いに加算することによって、前述の4つの効果のいずれでも組み合わせることができる。同様に、本システムの本質が線形であるということは、数個の入力を各々別々に、そして異なる方法で、前述のようにして合焦または指向することができ、制御可能でありしかも潜在的に広く分離可能な領域が得られ、この領域において、DPAA自体から離れた所に、異なる音場（異なる入力における信号を表す）を確立可能であるということを意味する。例えば、第1信号はDPAAの背後のある距離の所から発していると感じられるように生成することができ、第2信号はDPAA前方のある距離の位置において合焦することができる。

#### 【0084】

##### 本発明の第1の態様

本発明の第1の態様は、マルチチャネル・システムにおけるDPAAの使用に関する。既に説明したように、同じアレイを用いて、異なるチャネルを異なる方向に送出し、特殊効果を得ることができる。図8は、これを概略的に平面図で示しており、アレイ（3801）を用いて、サウンド（B1）の第1ビームを実質的に直線的に聴取者（X）に向けて前方に送出している。これは、図7Aまたは図7Bに示したように、集束させることも、させないことも可能である。第2ビーム（B2）は、僅かな角度をなして送出されているので、ビームは聴取者（X）を迂回し、多数回壁（3802）に反射して、この場合も最終的に聴取者に到達する。第3ビーム（B3）は、更に大きな角度で送出されているので、側壁で1回跳ね返り、聴取者に到達する。このようなシステムの典型的な用途の1つに、家庭用シネマ・システムがある。その場合、ビームB1は中央サウンド・チャンネルを表し、ビームB2は右サラウンド（従来のシステムでは、右後方スピーカ）サウンド・チャンネルを表し、ビームB3は左サウンド・チャンネルを表す。更に、右チャンネルおよび左サラウンド・チャンネルのビームもあり得るが、明瞭さのため図8からは除外している。明らかであろうが、ユーザに到達する前に伝搬する距離は、ビーム毎に異なる。例えば、中央ビームは4.8メートル伝搬し、左および右チャンネルは7.8メートル伝搬し、サラウンド・チャンネルは12.4メートル伝搬する場合もある。これを考慮に入れて、伝搬する距離が最も短いチャンネルに追加の遅延を与えれば、各チャンネルが実質的に同時にユーザに到達するようにすることも可能である。

#### 【0085】

これを遂行する装置を図9に示す。3つのチャンネル（3901、3902、3903）をそれぞれの遅延手段（3904）に入力する。遅延手段（3904）は、遅延制御部（3909）が決定する量だけ、各チャンネルの時間を遅延させる。次に、遅延したチャンネルを分配器（3905）、加算器（3906）、増幅器（3907）および出力変換器（39

08)に受け渡す。分配器(3905)は複製を作成して、この複製を遅延させ、図8に示すようにチャンネルを異なる方向に送出する。遅延制御部(3909)は、チャンネルの音波がユーザに到達する前に伝搬する予想距離に基づいて、遅延を選択する。前述の例を用いると、サラウンド・チャンネルは最も長い距離を伝搬するので、全く遅延させない。左チャンネルを13.5msだけ遅延させ、サラウンド・チャンネルと同時に到達するようにし、更に中央チャンネルを22.4msだけ遅延させて、サラウンド・チャンネルおよび左チャンネルと同時に到達するようにする。これによって、全てのチャンネルが確実に同時に聴取者に到達するようにする。チャンネルの方向を変更する場合、遅延制御部(3909)はこれを考慮し、それに応じて遅延を調節することができる。図9では、遅延手段(3904)は分配器の前方に示されている。しかしながら、これらを分配器内に組み込み、遅延制御部(3909)が信号を各分配器に入力し、当該分配器が出力する全ての複製信号にこの遅延を与えるようにしても有効である。更に、別の実用的な代案では、単一の遅延制御部(3909)を用い、各チャンネル複製毎に得られる遅延を選択し、別個の遅延エレメント(3904)を必要とせずに、各分配器に遅延データを送ることができる。

#### 【0086】

##### 本発明の第2の態様

前述の第1の態様では、ユーザに到達するサウンドにおける遅延は、かなり大きくすることができ、その大きさを増大させるに連れて一層目立つようになる。オーディオ・ビジュアルの用途では、このために映像がサウンドに先行し、不快な影響を与える可能性がある。この問題は、図10に示す装置を用いることによって解決することができる。対応するオーディオおよびビデオ信号は、DVDプレイヤー(4001)のような発信源から供給される。これらの信号は、同時に読み出され、時間的な対応関係を有する。チャンネル・スプリッタ(4004)を用いて、オーディオ信号から各オーディオ・チャンネルを得て、各チャンネルを図9に示す装置に印加する。オーディオ遅延制御部(3909)をビデオ遅延手段(4005)に接続し、ビデオ信号を適切な量だけ遅延させ、サウンドおよび映像が同時にユーザに到達することができるようにする。次に、ビデオ遅延手段からの出力を画面手段(4006)に出力する。与えるビデオ遅延は、一般に、サウンド・ビームが伝搬する最大距離、即ち、図8におけるサラウンド・チャンネルを基準にして計算する。この場合のビデオ遅延は、オーディオ遅延手段(3904)によって遅延されていないビームB2の伝搬時間に等しく設定する。ビデオ信号は、整数個のフレーム分だけ遅延させることが通常望ましい。これが意味するのは、ビデオ遅延値は計算値に近似的に等しいに過ぎないということである。サラウンド・チャンネルでさえも、これらが受けるいずれかの処理(例えば、フィルタリング)によって、いくらかの遅延が生ずる場合もある。したがって、この処理遅延に考慮するために、ビデオ遅延値に更に別の成分を追加してもよい。更に、直接経路上で聴取者に到達するサウンド(例えば、図8ではビームB1)がスピーカから放れるまで、ビデオ信号を遅延させる方が簡単な場合が多い。その結果生ずる誤差は総じて小さく、聴取者は現在のAVシステムからそれに慣れている。請求項11および16は、「実質的に前記時刻において」(at substantially the time)という句によって、これおよび整数個のビデオ・フレームによる近似を用いる際のシステムに該当することを意図している。

#### 【0087】

改良として、ビデオ遅延手段を各分配器(3905)にも同様に接続することができ(図10における点線を参照)、こうしてビームの指向性を理由に与えられるあらゆる遅延にも適切に配慮することができる。別の改良として、ビデオ処理回路を用いて、サウンド・システムのユーザ・インターフェースの画面上表示(on-screen display)を設けることができる。より一般的なソフトウェアの実施形態では、オーディオ遅延の各成分をマイクロプロセッサによってプログラムの一部として計算し、複製毎に完全な遅延値を計算する。これらの値は、次に、適切なビデオ遅延を計算するために用いられる。

#### 【0088】

##### 本発明の第3の態様



多数のチャンネルを用いる場合、異なるウィンドウ関数を各チャンネルに適用すると効果的なこともあり得る。ウィンドウ関数は、電力を犠牲にして「サイド・ローブ」の影響を低減する。用いるウィンドウ関数の種類は、得られるビームの要求量に応じて選択する。したがって、ビームの指向性が重要な場合、図11Aに示すようなウィンドウ関数を用いるとよい。指向性の要求が少ない場合、図11Dに示すようなより緩やかな関数を用いることができる。

#### 【0089】

これを遂行する装置を図12に示す。この装置は、追加の遅延手段(3904)を除去したことを除いて、図9に示すものと実質的に同一である。このような追加の遅延手段は、しかしながら、本発明のこの態様と組み合わせることができる。図12では、追加のコンポーネント(4101)を分配器の後段に配置している。このコンポーネントがウィンドウ関数を与える。このコンポーネントは、効果的に分配器と組み合わせることができるが、明瞭さのために別個に示されている。ウィンドウ手段(4101)は、1つのチャンネルに対する1組の複製にウィンドウ関数を適用する。したがって、システムは、チャンネル毎に異なるウィンドウ関数を選択するように構成することができる。

#### 【0090】

本システムには、更に別の利点もある。低音成分が多いチャンネルは、一般に、高いレベルを有する必要があるが、指向性はさほど重要でない。したがって、このようなチャンネルに対しては、これらの必要性を満たすように、ウィンドウ関数を変形することができる。一例を図11Aないし図11Dに示す。図11Aは、典型的なウィンドウ関数を示す。アレイ(4102)の外側近くにある変換器は、サイド・ローブを減少させ、指向性を改善するために、中心部にある変換器よりも出力レベルが低くなっている。音量を上げると、全出力レベルが増大し、アレイの中心部にある変換器の一部は飽和し(図11B参照)、最大目盛変形(FSD: full scale deflection)に至る虞れがある。これを回避するために、単に各変換器の出力を増幅する代わりに、ウィンドウ関数の形状を変化させることができる。これを図11Cおよび図11Dに示す。音量を増大させるに連れて、外側の変換器は、サウンド全体に対する寄与において、より重要な役割を果たすようになる。これはサイド・ローブも増大させるが、電力出力も増大させ、より大きなサウンドが得られ、クリッピング(飽和)は全く生じない。

#### 【0091】

前述の技法は、高い側の周波数成分にとって最も重要である。したがって、本態様は、第4の態様(後に示す)と組み合わせることが有利である可能性がある。低い側の周波数では、指向性の達成度が低くしかも重要性も低いので、平坦(「ボックスカー」)ウィンドウ関数を用いれば、最大電力出力を得ることができる。また、図11Dに示すような音量増大を考慮したウィンドウ関数の変形は必須ではなく、図11Bに示すような飽和では、ウィンドウは同様に0まで低下して縁端における不連続性を回避するため、そしてレベルの不連続性は傾斜の不連続性よりも有害であるため、実際には音質をはっきりとわかる程には劣化させないで済ますことができる。

#### 【0092】

##### 本発明の第4の態様

アレイによって達成可能な指向性は、送出する信号の周波数、およびアレイのサイズの関数である。低周波信号を送出するには、同じ分解能の高周波信号を送出する場合よりも、大きなアレイが必要となる。更に、低周波は一般に高周波よりも大きな電力を必要とする。したがって、入力信号を2つ以上の周波数帯域に分割し、DPA A装置を用いて達成される指向性に関して、これらの周波数帯域を別個に扱うことが有利である。

#### 【0093】

図13は、選択的に異なる周波数帯域を放出する一般的な装置を示す。

入力信号101は、信号スプリッタ/コンバイナ(2903)に接続されており、したがって、並列チャンネル内のロー・パス・フィルタ(2901)およびハイ・パス・フィルタ(2902)に接続されている。ロー・パス・フィルタ(2901)は、分配器(290

4)に接続されており、分配器(2904)は全ての加算器(2905)に接続し、一方加算器(2905)はPDAA(105)のN個の変換器(104)に接続されている。

#### 【0094】

ハイ・パス・フィルタ(2902)は、図1におけるデバイス(102)と同一の(そして、概略的にN個の可変振幅および可変時間遅延エレメントを内部に内蔵した)デバイス(102)に接続し、一方デバイス(102)は加算器(2905)の別のポートに接続している。

#### 【0095】

本システムは、アレイのサイズが低周波数における波長と比較して小さいことによる、これら低周波数の遠場相殺(far field cancellation)の影響を克服するために用いることができる。したがって、本システムは、音場の整形に関して、異なる周波数を個別に処理することができる。低周波数は、発信源/検出器と、全てが同じ時間遅延(表面上は0)および振幅を有する変換器(2904)との間を通過し、一方高周波数は、N個の変換器の各々に対して、独立して適切な時間遅延を受け、振幅が制御される。これによって、低周波数の大域的遠場消失(global far-field nulling of the low frequencies)を生ずることなく、アンチ・ビームング(anti-beaming)、即ち、高周波数の消失が可能となる。

#### 【0096】

尚、本発明の第4の態様による方法は、可調節デジタル・フィルタ(512)を用いて実施可能であることは注記しておくべきであろう。このようなフィルタによって、単に適切な値をフィルタ係数に選択することによって、異なる遅延を異なる周波数に調和させることが可能となる。この場合、周波数帯域を別個に分割し、各周波数帯域から得られる複製に異なる遅延を与える必要はない。単に単一の入力信号の種々の複製にフィルタ処理を行うことによって、適切な効果を得ることができる。

#### 【0097】

図14は、この態様の別の実施形態を示す。ここでは、アレイの出力変換器を異なる集合として用い、入力信号(101)の異なる周波数帯域を送信する。図13に示すように、入力信号(101)は、ハイ・パス・フィルタ(3402)によって高周波数帯域に、そしてロー・パス・フィルタ(3405)によって低周波数帯域に分割される。低周波数信号は、第1変換器集合(3404)に導出され、高周波数帯域は、第2変換器集合(3405)に導出される。第1変換器集合(3404)が占めるアレイの物理的範囲は、高周波変換器(3405)よりも大きい。通例では、変換器集合が占める範囲(即ち、特性的寸法の大きさ)は、送信する最短波長に大まかに比例する。これによって、双方の(または、2つよりも多い場合には全ての)周波数帯域に大まかに等しい指向性が与えられる。

#### 【0098】

図15は、この態様の更に別の実施形態を示す。ここでは、出力変換器の一部が帯域間で共有されている。この場合も、信号は、ローパス・フィルタ(3501)およびハイ・パス・フィルタ(3502)によって低および高周波数成分に分割される。低周波数分配器(3503)は、入力信号の低周波成分を適切に遅延した複製を、第1出力変換器集合(3505)に導出する。この例では、この第1集合は、アレイ内の全変換器から成る。高周波数分配器は、入力信号の高周波成分を第2出力変換器集合(3506)に導出する。これらの変換器は、アレイ全体の部分集合であり、図に示すように、低周波成分を出力するために用いたものと同一としてもよい。この場合、出力する前に、低周波および高周波信号を加算するために、加算器(3504)が必要となる。したがって、この実施形態では、低周波成分を出力するためにより多くの変換器が用いられ、したがって低周波数において必要とされる、より多くの電力を得ることができる。更に低周波数における電力出力を改善するために、外側の変換器(低周波数のみを出力する)を更に大型化し、一層強力にすることもできる。

#### 【0099】

この方法には、得られる指向性が全ての周波数にわたって同一であり、高周波数に用いる

変換器を最少数に抑えて、その結果、複雑さおよびコストを低減するという利点がある。これは、特に、図14に示すような設定を用い、低周波専用変換器がアレイの外側に配置され、高周波用変換器が中央付近にある場合に当てはまることである。更に、これには、フルレンジ変換器の代わりに、安価なレンジ限定変換器が使用可能であるという利点もある。

#### 【0100】

図16は、変換器のアレイの正面図を概略的に示し、各シンボルは変換器を表している（シンボルは、用いる変換器の形状に関係することは全く意図していないことを注記しておく）。図14の方法を用いる場合、正方形のシンボルは、低周波成分を出力するために用いられる変換器を表す。円形のシンボルは、中間範囲成分を出力する変換器を表し、三角形のシンボルは、高周波成分を出力する変換器を表す。

#### 【0101】

図15の方法を用いる場合、三角形のシンボルは、3つの周波数範囲全ての成分を出力する変換器を表す。円形のシンボルは、中間範囲および低周波信号のみを出力する変換器を表し、正方形のシンボルは、低周波数のみを出力する変換器を表す。

#### 【0102】

本発明のこの態様は、前述の第3の態様と完全に適合性がある。何故なら、ウィンドウ関数を用いることができ、分配器（3403、3503、3507）の後に計算を行うからである。専用の変換器を用いる場合（図14におけるように）、高周波変換器の中心アレイの存在によって低周波ウィンドウ関数に生ずる「孔」は、通常性能には有害ではない。特に、低周波チャネルによって再生される最短波長に対して孔が十分に小さいときには、有害ではない。

#### 【0103】

図16から明らかなように、高周波数には、低周波数よりも用いる変換器が少なく、隣接する変換器間の間隔は一定である。しかしながら、許容可能な最大変換器間隔は、波長の関数であるので、高周波数においてサイドローブを回避するためには、変換器を一層密集させる（例えば、 $\lambda/2$ 間隔で）必要がある。これは、変換器および駆動用電子回路に関しては、一方では低周波数を送出できるだけ十分に広い領域を確保し、他方では高周波数を送出するために変換器を近接配置するため、費用がかかる。この問題を解決するために、図17に示すアレイを提供する。このアレイでは、中央部分付近に位置する出力変換器の密度が平均よりも高くなっている。したがって、一層密集した変換器を用いて高周波数を出力することができるので、アレイの範囲を広げることなく、したがってビームの指向性を高めることもない。大きな低周波領域に配置された変換器は密集度が低く、これに対して中央の高周波領域は密集度を高めた領域となっており、全ての周波数においてコストおよび性能を最適化している。図17では、正方形は、単に変換器の存在を示すに過ぎず、図16におけるように、形状や信号出力の種類を示す訳ではない。

#### 【0104】

##### 本発明の第5の態様

図18は、長さ $L$ がその幅 $W$ よりも長い変換器を示す。この変換器は、図19に示すような同様の変換器のアレイに有効に用いることができる。ここでは、変換器3701は直線状に互いに隣接して配置されており、この直線は各変換器の長い方の辺に対して垂直な方向に延びるようになっている。この配列によって得られる音場は、効果的に水平面に送出することができ、各変換器の形状が細長いことから、そのエネルギーの殆どを水平面内に有している。他の面に送出されるサウンド・エネルギーは殆どないので、高い効率の動作が得られる。このように、第5の態様は、細長い変換器で構成した二次元アレイを提供し、（細長い形状のために）一方向に強い指向性を与え、（アレイの本質のために）他の方向には制御可能な指向性を与える。各変換器のアスペクト比は、好ましくは少なくとも2:2であり、更に好ましくは3:1であり、更に一層好ましくは5:1である。各変換器の形状が細長いので、サウンドの効果は1つの面に集中し、一方直線状の変換器アレイによって、当該面内において高い指向性が得られる。このアレイは、本発明の他の態様のいずれ

におけるアレイとしても使用することができる。

#### 【0105】

##### 本発明の第6の態様

本発明の第6の態様は、前述の装置と同様の単一のサウンド放出装置のみを用いて、サラウンド・サウンドまたはステレオ効果を作り出すためのPDAAシステムの使用に関する。特に、本発明の第6の態様は、異なるサウンド・チャンネルを異なる方向に送出し、音波が反射面または共振面に衝突し、それによって再度送信される構成に関する。

#### 【0106】

本発明の第6の態様は、DPAAを戸外で（または、実質的に無音響条件を有する他のいずれかの場所で）動作させた場合に、観察者は、別個の音場を容易に知覚するためには、音が集束する領域に近づかなければならないという問題に取り組む。こうしなければ、観察者は、作り出された別個の音場の位置を特定することが困難である。

#### 【0107】

音響反射面、または代替として、吸収した入射サウンド・エネルギーを再放射する音響的共振体、をサウンド・ビームの経路に配置すると、これはサウンドを再放射するので、事実上、DPAAから離れた新たな音源となり、用いられるフォーカシング（あれば）によって決定される領域に位置する。平面反射器を用いる場合、反射サウンドは大部分が特定の方向に送出される。拡散反射器が存在する場合、サウンドがDPAAから入射するのと同じ反射器の側で、サウンドは反射器から遠ざかるようにほぼ全方向に再放射される。したがって、前述のように、異なる入力信号を表す多数の異なるサウンド信号をDPAAによって異なる領域に向けて送出し、各領域内にこのような反射器または共振器を配置して、各領域からのサウンドを再度送出させるようにすると、ここに記載した設計の単一のDPAAを用いて、真の多元分離音源サウンド放射システム（multiple separated-source sound radiator system）を構成することができる。

#### 【0108】

図20は、聴取者（2103）に多数の音源を備えるための、単一のDPAAおよび多数の反射または共振面（2102）の使用を示す。これは音響心理学的キューに基づくのではないので、サラウンド・サウンド効果は、聴取領域全域で聴取可能である。

#### 【0109】

図7Aまたは図7Bを参照して先に説明したように、サウンド・ビームは、合焦させなくても、または合焦させてもよい。フォーカス位置は、所望の効果をj得るためには、それぞれの反射器／共振器の前方、その位置、またはその後方のいずれに選択することも可能である。図21は、サウンド・ビームを反射器の前方および後方に合焦させたときに得られる効果をそれぞれ概略的に示す。DPAA（3301）は、部屋（3304）内に設置した反射器（3302および3303）に向けてサウンドを送出するように動作可能である。

#### 【0110】

サウンド・ビームを反射器（3302）の前方の地点F1（図21参照）において合焦させた場合、ビームはフォーカス点で狭まり、その後広がる。ビームは、反射器からの反射の後広がり続け、地点P1にいる聴取者にはそのサウンドが耳に入る。反射のために、ユーザは、虚焦点F1'から発出するものとして、このサウンドを認知する。このように、P1にいる聴取者は、サウンドを、部屋（3304）の外側から発出するものとして認知する。更に、得られるビームは非常に広いので、部屋（3304）の下半分にいる聴取者の大部分がこのサウンドを聞くことになる。

#### 【0111】

サウンド・ビームを反射器（3303）の後方の地点F2（図21参照）において合焦させた場合、ビームは、最大限狭められる前に反射してフォーカス点に向かう。反射の後、ビームは広がり、地点P2にいる聴取者はこのサウンドを聞くことができる。反射のために、ユーザは、このサウンドを、反射器の前方にある反射焦点（reflected focal point）F2'から発出したものとして認知する。このように、P1にいる聴取者は、サウンド

を至近位置から発出したものとして認知する。更に、得られるビームは非常に狭いので、部屋内にいる聴取者の内小さな割合にだけサウンドを送出することが可能となる。したがって、前述の理由のため、反射器／共振器以外の位置においてビームを合焦することは、効果的であると言える。

#### 【0112】

多数の分離したビームについて先に記載したように、即ち、異なる入力信号を表すサウンド信号を異なる分離した領域に送出するようにDPAAを動作させる場合、硬質 (hard) の境界面および／またはサウンド反射性に優れた境界面が多数ある無響でない条件 (通常の部屋環境) では、特にこれらの領域が1つ以上の反射境界面に送出される場合、観察者は、彼の通常のサウンド方向認知能力のみを用いて、別個の音場を容易に認知することができ、同時に、(境界から) 反射したサウンドがこれらの領域から観察者に到達するために、これらの各々の空間におけるそれぞれ別個の合焦領域 (focal regions) (1つある場合) においてこれらの各々を特定することができる。

#### 【0113】

このような場合、観察者は、実際の分離された音場を認知するが、DPAAが人工的な音響心理学的要素をサウンド信号に導入することを頼りにするのではないことを強調するのは重要である。したがって、観察者の位置は、DPAAの近場放射から十分離れている限り、真のサウンドを特定するには比較的重要ではない。このように、1つの物理的ラウドスピーカ (DPAA) のみを用い、殆ど実際の環境において見られる自然の境界を利用して、マルチ・チャンネル「サラウンド・サウンド」を得ることができる。

#### 【0114】

適切な自然反射境界を欠く環境において同様の効果をあげるには、人工的な反射または共振面を適切に配置することによって、同様に分離した多音源音場を得ることができる。この場合、音源はこれらの面から発して、ビームを送出するように見えることが望ましい。例えば、大きなコンサート・ホールまたは戸外環境では、透光性のプラスチックまたはガラス・パネルを配すると、視覚的影響が殆どないサウンド反射器として用いることができる。これらの領域からサウンドが広く分散することが望ましい場合、サウンド散乱反射器または広帯域共振器を代わりに導入することができる (これは、透光性にするのが一層難しくなるが、不可能ではない)。

#### 【0115】

球状の反射器を用いて、広い角度にわたって拡散反射を得ることができる。更に拡散反射効果を高めるためには、表面は、拡散させるのが望ましいサウンド周波数の波長程度の粗さを有するとよい。

本発明のこの態様の大きな利点は、前述の全てが単一のDPAA装置によって達成でき、変換器毎に、入力信号の遅延した複製の合計によって出力信号を構築できることである。したがって、従来サラウンド・サウンド・システムに付随していた多くの配線や装置を不要となる。

#### 【0116】

##### 本発明の第7の態様

本発明の第7の態様は、DPAAのユーザは特定のチャンネルのサウンドがいずれの特定の時点においてもどこに向けて送出または合焦されているかを特定することが、常に容易にできる訳ではないという問題に取り組む。逆に、ユーザは、空間内の特定の位置にサウンドを送出または合焦したいが、与えるべき正しい遅延等に関して複雑な計算を必要とする場合もある。この問題は、特定の方向に照準を向けさせることができるビデオ・カメラ手段を設けることによって軽減される。次に、ビデオ・カメラに接続した手段を用いて、カメラの照準を合わせる方向を計算し、それに応じて遅延を調節することができる。有利なこととして、カメラは、操作者の直接的な制御下にある (例えば、三脚上またはジョイスティックを用いる)、DPAA制御部は、操作者がカメラの照準を合わせようとするところにはどこにでも、サウンド・チャンネルを送出させるように構成されていることがあげられる。これによって、部屋の数学的モデルを作成したり、その他の複雑な計算を行うこと

に頼らないシステムを非常に簡単に設置することができる。

#### 【0117】

部屋内のどこにカメラを合焦しているか検出する手段を設けると便利である。次いで、サウンド・ビームを同じスポットに合焦することができる。これによってシステムの設定が非常に容易になる。何故なら、部屋内においてサウンドを合焦したい場所にマーカを配することができ、次いで、操作者が、テレビジョン・モニタを見ながら、カメラのレンズをこれらのマーカに合焦することができるからである。更に、システムは、そのスポットにサウンドを合焦するための正しい遅延を計算するように、ソフトウェアを自動的に設定することができる。あるいは、部屋内の基準点を特定し、サウンドの合焦を選択することができる。例えば、部屋の単純なモデルを予めプログラムしておき、操作者が、カメラの視野内で物体を選択し、焦点距離を判定することができる。カメラの焦点距離を用いる場合および部屋のモデルを用いる場合双方において、カメラ（パン、チルト、距離）または部屋（ $x$ ,  $y$ ,  $z$ ）からスピーカ（回転、エレベーション（elevation）、距離）への座標変換を用いると便利である。この場合、2つの座標系は異なる原点を有する。

#### 【0118】

逆の動作モードでは、PDAAの電子回路によってカメラを自動的に操向し、ビームが現在操向されている方向に照準を合わせるようにすることもでき、たとえどのようなことがあっても、サウンドのフォーカシングが生ずる地点に自動的に合焦させる。これによって、有用な設定フィードバック情報が大量に操作者に提供される。

#### 【0119】

また、どのチャンネル設定をカメラ位置によって制御するか選択する手段も設けるとよく、これら全てを子機から制御するようにするとよい。

#### 【0120】

図22は、DPAA（3601）上に位置するビデオ・カメラ（3602）を用いて、サウンドが合焦する同じ地点に照準を合わせる場合を側面図で示す。カメラは、サーボ・モータ（3603）を用いて操向することができる。あるいは、カメラを別個の三脚上に装着することや、手で保持することや、既存のCCTVシステムの一部とすることもできる。

#### 【0121】

CCTVの用途では、複数のカメラを用いて1つの範囲に対応させるが、単一のアレイを用いれば、この範囲内においてカメラの1つが照準を定めるいずれの位置にでも、サウンドを送出することができる。したがって、操作者は、その地点に照準を合わせているカメラを選択し、マイクロフォンに向かって話すことによって、（音声コマンドまたは命令のような）サウンドを範囲／部屋内の具体的な地点に送出することができる。

#### 【0122】

##### 更に好ましい特徴

各入力に関する信号の放射パターンおよびフォーカス点を、これらの入力におけるプログラム・デジタル信号の値に応答して調節する手段を設けてもよい。このような手法を用いると、その入力のみから再生する大きなサウンドがある場合、これらの信号のフォーカス点を一時的に外側に移動させることによって、ステレオ信号およびサラウンド・サウンド効果を誇張することができる。このように、実際の入力信号自体に応じて操向を行うことができる。

#### 【0123】

一般に、フォーカス点を移動させる際、各複製に与える遅延を変化させる必要があり、これには、サンプルを適宜コピーしたり、とばすこと（skipping）を伴う。好ましくは、これを段階的に行い、聴取可能なクリック音を回避する。クリック音は、例えば、多数のサンプルを一度にとばす場合に発生する可能性がある。

#### 【0124】

本発明の技術の実用的な適用分野には、以下のものが含まれる。

家庭の娯楽では、サウンドの多数の実際の音源を聴取室内の異なる位置に投射することが

できるため、多数の別個のラウドスピーカを配線した場合の乱雑さ、複雑さ、および配線の問題を生ずることなく、マルチ・チャンネル・サラウンド・サウンドの再生が可能となる。

#### 【0125】

PA (public address) およびコンサート・サウンド・システムでは、DPAAの放射パターンを三次元に自在に変化させることができ、多数の同時ビームが得られることから、

DPAAの物理的方位付けのように、非常に速い設定はさほど重要ではなく、繰り返し調節する必要がない。

1種類のスピーカ (DPAA) のような、より小さなラウドスピーカの品揃えで、多種多様の放射パターンが得られる。通例では、このためには各々適切なホーンを備えた専用のスピーカが必要となる。

フィルタおよび遅延係数の調節のみによって、反射面に達するサウンド・エネルギーを減少させることができ、したがって主要なエコーを減少させることができるので、明瞭性 (intelligibility) を高めることができる。

DPAA放射パターンは、DPAA入力に接続されるライブ・マイクロフォンに到達するエネルギーを減少させるように設計することができるので、不要な音響フィードバックをより良く制御することができる。

#### 【0126】

群衆管理 (crowd-control) および軍事活動では、DPAAビームのフォーカシングおよび操向によって (物理的にかさばるラウドスピーカおよび/またはホーンを移動させることなく)、離れた領域において非常に強い音場を生成することができる。この音場は容易にかつ素早く配置し直すことができ、追跡用光源によって目標に容易に送出され、非侵襲的であるが、強力な音響兵器が得られる。大きなアレイを用いた場合、または1群の別個のDPAAパネルを調整して、広く間隔を空けて配置することができれば、合焦領域 (focal region) では、DPAA SET付近よりも音場をはるかに強力にすることができる (全体的なアレイ寸法が十分大きければ、可聴帯域の下端においてでも可能である。)

#### 【0127】

前述の態様のいずれでも、実際のデバイスと一緒に組み込めば、前述の利点を得ることができる。

#### 【0128】

##### 本発明の第1の態様の好適な実施形態

次に、本発明の第1の態様の好適な実施形態の説明を行う。これも、前述のその他の態様の技法を利用するが、いずれも明白となろう。

#### 【0129】

図23を参照すると、デジタル・サウンド・プロジェクタ10は、変換器またはラウドスピーカ11のアレイを備えており、これを制御して、オーディオ入力信号がサウンド・ビーム12-1、12-2として放出され、制限範囲内で、アレイ前方の半空間内で任意の方向に送出することができる。注意深く選択した反射経路を利用することによって、聴取者13は、アレイから放出されるサウンド・ビームを、その最後の反射位置から発したかのように認知する。

#### 【0130】

図23には、2つのサウンド・ビーム12-1および12-2が示されている。第1ビーム12-1は、部屋の一部である側壁161に向けて送出され、直接聴取者13に向けて反射される。聴取者は、このビームを、反射スポット17から、したがって、右から発したものとして認知する。破線で示す第2ビーム12-2は、聴取者13に到達するまでに、2回反射する。しかしながら、最後の反射は後方の角で行われるので、聴取者は、そのサウンドを、彼または彼女の背後の音源から放出されたかのように認知する。

#### 【0131】

デジタル・サウンド・プロジェクタに可能な使用法は数多くあるが、特に効果的なのは、聴取者の位置周囲の異なる場所に配置した数個の別個のラウドスピーカを用いる従来の

サラウンド・サウンド・システムと置換することである。ディジタル・サウンド・プロジェクトは、サラウンド・サウンド・オーディオ信号の各チャンネル毎にビームを発生し、ビームを適切な方向に操向することによって、多くのラウドスピーカや余分な配線を配することなく、聴取者の位置に真のサラウンド・サウンドを作り出すことができる。

### 【0132】

図24ないし図26には、ディジタル・サウンド・プロジェクトのコンポーネントがブロック図の形態で示されている。入力において、パルス・コード変調（PCM）形態の共通フォーマットの音源素材（audio source material）が、コンパクト・ディスク（CD）、ディジタル・ビデオ・ディスク（DVD）等のようなデバイスから、ディジタル・サウンド・プロジェクトによって、S/PDIFフォーマットの光学的または同軸ディジタル・データ・ストリームとして受け取られる。しかし、他の入力ディジタル・データ・フォーマットも使用可能である。この入力データは、単純な2チャンネル・ステレオ対、あるいはDolby Digital（登録商標）またはDTS（登録商標）のような圧縮および符号化したマルチ・チャンネル・サウンドトラック、あるいはオーディオ情報の多数の離散ディジタル・チャンネルのいずれかを含むことができる。

### 【0133】

符号化および／または圧縮したマルチ・チャンネル入力は、最初に、デコーダにおいて、標準的なオーディオおよびビデオ・フォーマットに使用可能なデバイスおよび使用許諾を得たファームウェアを用いて、復号および／または解凍される。また、アナログ／ディジタル変換器（図示せず）も組み込まれており、アナログ入力音源への接続（AUX）が可能であり、これらは適切にサンプリングされたディジタル・フォーマットに直ちに交換される。得られた出力は、通例では、3対、4対、またはそれ以上のチャンネル対から成る。サラウンド・サウンドの分野では、これらのチャンネルのことを、左、右、中央、サラウンド（後方）左、およびサラウンド（後方）右チャンネルと呼ぶことが多い。信号には、低周波効果チャンネル（LFE）のような、その他のチャンネルも存在する場合もある。

### 【0134】

これらのチャンネルまたはチャンネル対は、各々、2チャンネル・サンプル・レート変換器〔SRC〕に供給され（あるいは、各チャンネルを単一のチャンネルSRCを通過させることができる）、再同期、および再サンプリングを行い、内部（または、オプションとして、外部）の標準的なサンプル・レート・クロック〔SSC〕（通例では、約48.8 KHzまたは97.6 KHz）およびビット長（通例では24ビット）を得て、内部システム・クロックが音源のデータ・クロックから独立できるようにする。このサンプル・レート変換によって、クロック速度の低精度、クロックのドリフト、およびクロックの非適合性による問題を解消する。即ち、高効率化のために、ディジタル・サウンド・プロジェクトの最終的な電力出力段をディジタル・パルス幅変調〔PWM〕切換型とすべき場合、PWMクロックとPWM変調器に供給されるディジタル・データ・クロックとの間では完全な同期を取ることが望ましい。SRCによって、この同期を取ると共に、あらゆる外部データ・クロックの変動から隔離させる。

### 【0135】

最後に、2つ以上のディジタル入力チャンネルが異なるデータ・クロックを有する場合（恐らく、これらが、例えば、別個のディジタル・マイクロフォン・システムから来たため）、この場合も、SRCによって、内部的に全ての異種信号を確実に同期させる。

SRCの出力は、48.8 KHzの内部で発生したサンプル・レートにおいて、24ビット・ワードの8チャンネルに変換される。

### 【0136】

1つ以上（通例では、2つまたは3つ）のディジタル信号プロセッサ〔DSP〕ユニットを用いてデータを処理する。これらは、例えば、133 MHzで動作する、Texas Instruments社のTMS320C6701 DSPとすればよく、DSPは、計算の大部分を、コード化を容易にするために浮動小数点フォーマットで行うか、または処理速度を最大限高めるために固定小数点フォーマットで行う。あるいは、特に、固定小数点計算を行う場合、ディジタ



ル信号処理は、1つ以上のフィールド・プログラマブル・ゲート・アレイ (FPGA) ユニットにおいて実行することができる。更に別の代替案は、DSPとFPGAの混成である。あるいは、ディジタル処理の一部または全部を、特定用途集積回路 (ASIC) の形態のカスタム化シリコンによって実施してもよい。

#### 【0137】

DSP段は、ディジタル・オーディオ・データ入力信号のフィルタ処理を実行して、周波数応答の等化を改善し、ディジタル・サウンド・プロジェクトの最終段において用いられる音響出力変換器の周波数応答 (即ち、伝達関数) における不規則性を補償する。

#### 【0138】

オプションとして、別個に処理するチャンネルの数は、(好ましくは) この段において、または恐らくはもっと前または後の処理段において、加算的に (1つ以上の) 低周波効果 [LFE] チャンネルを1つ以上の他のチャンネル、例えば、中央チャンネルと組み合わせることによって削減し、この段以降の処理を極力少なくするとよい。しかしながら、別個のサブ・ウーハを本システムと共に用いなければならない場合、または処理能力が問題とはならない場合、処理チェーン全体を通じて、より多くのチャンネルを維持することができる。

#### 【0139】

また、DSP段は、8つのチャンネル全てに対して、アンチ・エイリアスおよび音質制御フィルタ処理を行い、8倍オーバーサンプル・データ・レート全体に対して8倍オーバーサンプルおよび補間を行い、390KHzにおいて8チャンネルの24ビット・ワード出力サンプルを形成する。また、信号制限およびディジタル音量制御もこのDSPにおいて行う。

#### 【0140】

赤外線遠隔制御によってユーザがディジタル・サウンド・プロジェクトに送ったリアル・タイム・ビーム操向設定値から、ARMマイクロプロセッサが、各変換器毎に、タイミング遅延データを生成する。ディジタル・サウンド・プロジェクトは独立して出力チャンネルの各々を操向できるので (入力チャンネル毎に1つの操向出力チャンネル)、多数の遅延計算を別個に行うことになる。この数は、出力チャンネル数に変換器の数を乗算した値に等しい。ディジタル・サウンド・プロジェクトは動的に各ビームをリアル・タイムに操向することも可能であるので、計算も迅速に行う必要がある。一旦計算したなら、同じ並列バスを通じて、遅延要求をFPGA (ここで、遅延を実際にディジタル・データ・サンプルのストリームの各々に与える) に、ディジタル・データ・サンプル自体として分配する。

また、ARMコアは、全てのシステム初期化および外部通信も処理する。

#### 【0141】

信号ストリームは、Xilinxフィールド・プログラマブル・ゲート・アレイ・ロジックに入力される。このロジックは、高速スタティック・バッファRAMデバイスを制御して、8チャンネルの各々のディジタル・オーディオ・データ・サンプルに与えるのに必要な遅延を生成する。1つずつの出力変換器 (この実施態様では256個) に、各チャンネルを離散的に遅延させたものを生成する。

#### 【0142】

アポダイゼーション (apodisation)、またはアレイ・アパーチャ・ウィンドウイング (array aperture windowing) (即ち、漸増重み付け係数 (graded weighting factors) を、各変換器のアレイの中心からの距離の関数として、変換器毎に信号に適用して、ビーム形状を制御する) を、FPGAにおいて、各チャンネルの遅延信号バージョンに別個に適用する。ここでアポダイゼーションを適用することによって、異なる出力サウンド・ビームが、個別に形成された異なるビーム形状を有することが可能となる。これら別個に遅延され、別個にウィンドウ処理されたディジタル・サンプル・ストリームは、8チャンネルの各々に1つずつ、そして256個の変換器の各々に1つずつで、合計  $8 \times 256 = 2048$  個の遅延バージョンとなり、変換器毎にFPGAにおいて合計し、256個の変換器エレメントの各々に、個別の390KHz 24ビット信号を生成する。オプションとして、アポダイゼーションまたはアレイ・アパーチャ・ウィンドウイングは、簡略化のためには、加算段の後に全チャンネルに対して一度に実行するとよい (加算段の前に、チャンネル毎に別

個に実行する代わりに) が、この場合、ディジタル・サウンド・プロジェクトからの各サウンド・ビーム出力は、同じウィンドウ関数を有することになり、これは最適とは言えない。

#### 【0143】

次に、24ビットおよび390kHzの256個の信号は、各々、同様にFPGA内にある量子化／ノイズ整形回路を通され、データ・サンプル・ワード長を390kHzにおいて8ビットに短縮するが、可聴帯域（即ち、～20Hzから～30Kzまでの信号周波数帯域）内では高い信号対ノイズ比〔SNR〕は維持したままである。

#### 【0144】

実際に有用な実施態様の1つは、SSCをDSPマスタ処理クロック速度の正確な有理数の分数にすることである。例えば、 $100\text{MHz}/256=390,625\text{Hz}$ となり、これによって、システム全体において、サンプル・データ・レート処理クロックにロックする。ディジタルPWMタイミング・クロック周波数も、DSPマスタ処理クロック速度の正確な有理数の分数にすると有利である。特に、PWMクロック周波数を、内部ディジタル・オーディオ・サンプル・データ・レートの正確な整数倍、例えば、9ビットPWMに対してサンプル・レートの512倍（2

9=512であるため）にすると有利である。ディジタル・データ・ワード長を8に短縮しつつ、同時にサンプル・レートを高めることは、次に上げるいくつかの理由により、有用である。

#### 【0145】

i) サンプル・レートを高めることにより、データ・ワード遅延の分解能を高めることができる。例えば、48KHzのデータ・レートでは、可能な最小の遅延刻み幅は1サンプル周期、即ち、～21マイクロ秒であるが、一方195KHzデータ・レートでは、可能な最小遅延刻み幅は（1サンプル周期）～5.1マイクロ秒となる。音響出力変換器の直径に比較して、精細なサウンド経路長補償分解能（sound-path-length compensation resolution）（＝時間遅延分解能に音速を乗算した値）を有することは重要である。21マイクロ秒の間に、空中のサウンドはNTPにおいて約7mm伝搬する。これは、直径がわずか10mmの変換器を用いる場合には、余りにも粗い分解能である。

#### 【0146】

i i) PCMデータを直接実用的なクロック速度のディジタルPWMに変換することは、ワード長が短い程簡単である。例えば、48KHzのデータ・レートおよび16ビット長では、 $65536 \times 48\text{KHz} \sim 3.15\text{GHz}$ （ほぼ非実用的）のPWMクロック速度が必要となるが、一方195KHzのデータ・レートおよび8ビット長では、 $256 \times 390\text{KHz} \sim 100\text{MHz}$ （正に実用的）のPWMクロック速度が必要となる。

#### 【0147】

i i i) サンプル・レート上昇によって、サンプル・レートの半分において得られる信号帯域幅が増大し、例えば、～195KHzのサンプル・レートでは、得られる信号帯域幅は～96KHzとなる。量子化プロセス（ビット数削減）は事実上量子化ノイズをディジタル・データに付加し、量子化プロセスによって生成したノイズをスペクト的に整形することによって、ベースバンドの上端と間の領域において、ベースバンド信号よりも高い周波数（即ち、この場合、～20KHzより上）に大部分を移動させることができる。その効果は、元の信号情報のほぼ全てが、ここでは非常に少ないSNRの低下を伴うだけで、ディジタル・データ・ストリームにて搬送されることである。

#### 【0148】

サンプル・ワード幅を短縮したデータ・ストリームは、各々31Mb/sの26本の直列データ・ストリーム、および付加的な音量データに分配される。各データ・ストリームは、26個のドライバ・ボードの1つに割り当てられる。

図25に示すように、ドライバ回路ボードは、これらが駆動する変換器に物理的に近いことが好ましいが、これらが制御する変換器の各々に、パルス幅変調クラスーBD出力ドライバ回路を設ける。本例では、各ドライバ・ボードは、10個の変換器に接続されており、これによって、全くロー・パス・フィルタ〔LPF〕の介在なく、変換器はクラスーB

D出力ドライバ回路の出力に直接接続される。

#### 【0149】

各PWM発生器は、1つの変換器を直接駆動するクラスーD電力スイッチまたは出力段、あるいは隣接する変換器の直列または並列接続された対を駆動する。クラスーD電力スイッチへの電源をデジタル的に調節すると、変換器への出力電力レベルを制御することができる。この電源を広い範囲、例えば、10:1にわたって制御することによって、変換器への電力は、遥かに広い範囲、10:1の電圧範囲に対して100:1、または一般にN:1の電圧範囲に対して $N^2:1$ で制御することができる。このように、デジタル・ワード長を短縮せずに、広範囲のレベル制御（または「音量」制御）を行うことができるので、更なる量子化（または分解能の低下）による信号劣化は発生しない。電源を変化させるには、クラスーD電力スイッチと同じ印刷回路ボード（PCB）上に実装した低損失スイッチング・レギュレータを用いる。クラスーDスイッチ毎にスイッチング・レギュレータを1つとして、電源線の相互変調を極力抑えている。各スイッチング・レギュレータを、2つ、3つ、4つまたはその他の整数倍個のクラスーD電力スイッチ毎に用いれば、コストを削減することができる。

#### 【0150】

クラスーD電力スイッチ即ち出力段は、音響出力変換器を直接駆動する。通常のクラスーD電力増幅器の駆動、即ち、非常に一般的に用いられているいわゆる「クラスーAD」増幅器では、クラスーD電力段と変換器との間に電子ロー・パス・フィルタ（LPF）（常に、アナログ電子LPF）を配置する必要がある。これは、磁気変換器の共通した形態（圧電変換器では一層強まる）が、クラスーAD増幅器の出力における高エネルギーに存在する高周波PWMキャリア周波数に対して、低負荷インピーダンスを与えるからである。例えば、ベースバンド入力信号がゼロのクラスーAD増幅器は、その出力に連続的に、PWM切換周波数（この場合、これは $\sim 50$ または $100\text{MHz}$ となる）において最大振幅（通常二極）の1:1マーク空間比[MSR]出力信号を生成し、公称8オームの負荷に接続されると、この負荷において得られる最大電力を消散するが、有用な音響出力信号は得られない。一般的に用いられる電子LPFのカット・オフ周波数は、望まれる最高の信号出力周波数（例えば、 $> 20\text{kHz}$ ）よりも高いが、PWM切換周波数（例えば、 $\sim 50\text{MHz}$ ）よりはかなり低いので、PWMキャリアを効果的に遮断し、電力浪費を最少に抑える。このようなLPFは、電力損失をできるだけ減らしつつ、最大信号電力を電気負荷（例えば、音響変換器）に伝達しなければならない。通常、これらのLPFは、少なくとも2つの電力インダクタと、2つ、または更に多くの場合では、3つのコンデンサを用いる。LPFは、かさばり、構成に比較的费用がかかる。単一チャンネル（または数チャンネル）増幅器では、このようなLPFはコストを理由に許容することができ、更に重要なのは、PWM増幅器がそれらの負荷（例えば、従来のラウドスピーカ）とは別個に収容され、これらの負荷に場合によっては長いリードによって接続しなければならない場合、このようなLPFが必要となるのは、いずれにしても全く異なる理由からであり、即ち、高周波PWMキャリアが接続リードに進入し、比較的大きな振幅の望ましくない迷走電磁放射[EMI]を発生する可能性が非常に高くなるのを防止するためである。

#### 【0151】

デジタル・サウンド・プロジェクトでは、音響変換器は、短いリードによって、物理的に隣接するPWM電力スイッチに直接接続されており、全てが同じエンクロージャに収容されているので、EMIの問題は全く起こらない。デジタル・サウンド・プロジェクトでは、PWM発生器は、クラスーBDとして知られている種類のものであり、これらはクラスーDB PWM信号を生成し、出力電力スイッチを駆動する。一方、これらは音響出力変換器を駆動する。クラスーBD PWM出力信号は、最大振幅二極パルス出力の間でゼロに戻るという特性を有し、したがって三状態であり、クラスーAD信号のような二状態ではない。このため、クラスーBD PWMシステムへのデジタル入力信号がゼロのとき、クラスーBD電力出力状態はゼロであり、クラスーAD PWMによって生成されるような、最大電力二極1:1MSR信号ではない。つまり、クラスーBD PWM電力

スイッチは、この状態ではゼロ電力を負荷（音響変換器）に供給する。阻止すべき全電力PWMキャリア信号がないので、LPFは不要である。したがって、デジタル・サウンド・プロジェクトでは、クラス-BD PWM増幅器のアレイを用いて変換器の一体アレイを直接駆動することにより、電力LPFのアレイの必要性を解消し、コスト、損失電力の大幅な削減が達成される。クラス-BDが従来のオーディオ増幅器では殆ど用いられなかったのは、第1に非常に線形性が高いクラス-BD増幅器を作ることが、同様の線形性を有するクラス-A増幅器よりも難しいからであり、そして第2に、前述の理由により、EMIを考慮してLPFが一般にいずれにしても必要となり、クラス-BDの主要な効果が打ち消されるからである。

#### 【0152】

音響出力変換器自体は、非常に効果的な電気音響LPFであり、したがって絶対的に最少のPWMキャリアがクラス-BD PWM段から音響エネルギーとして放出される。このため、デジタル・サウンド・プロジェクトのデジタル・アレイ・ラウドスピーカでは、クラス-BD PWMを同じボックス内の音響変換器への直接結合と組み合わせ、電子LPFを用いないことにより、高効率、高電力、多元変換器駆動に対する非常に効果的かつ価格効率的な解決策となる。更に、デジタル・サウンド・プロジェクトに対する、聴取者が聞く入力チャンネルの1つに対応するいずれの1つ（以上）の出力チャンネルのサウンドも、音響出力変換器の各々からのサウンドの合計であり、したがって、これらの変換器を駆動する電力増幅段の各々からの出力の合計に関連し、電力スイッチおよび変換器の出力における非対称的誤差は、平均するとゼロとなり、殆ど聞き取れない。したがって、前述のように構成したアレイ・ラウドスピーカの利点は、従来のアレイ型でないオーディオ・システムにおけるよりも、個々のコンポーネントの品質に寛大なことである。

#### 【0153】

デジタル・サウンド・プロジェクトの特定のな実施態様において、254個の音響出力変換器を大まかに矩形の範囲の三角形アレイに配列し、アレイの1つの軸を垂直とし（そして、20個の変換器から成る7つの垂直列が、各々、19個の変換器から成る6つの列によって分離されている範囲）、変換器の各垂直列における2つ置き出力変換器がその直下にある変換器と電気的に直列または並列に接続されている場合、チャンネルの各々に132の異なるバージョンが得られ、この例では、チャンネル数は5である。即ち、合計660チャンネルとなる。高いオーディオ周波数（例えば、12KHzないし15KHz）まで、変換器からのおよそ全方向への放射を確保するように、変換器の直径を十分小さくすることは、デジタル・サウンド・プロジェクトが小さい角度で変換器アレイの面からのサウンドのビームを操向可能でなければいけない場合、重要である。つまり、変換器の直径は、音声帯域全体に適用するには、5mmないし30mmの間が最適である。変換器間の間隔は、デジタル・サウンド・プロジェクトによって放出されるサウンドの最短波長に比較して小さいことが、音響放射の「スプリアス」サイドローブ（即ち、偶発的に生成され、所望の方向に放出されない音響エネルギーのビーム）の発生を最少に抑えるためには望ましい。可能な変換器サイズを実際に検討することから、変換器の間隔は、5mmから45mmの範囲が最も良いことがわかった。三角形のアレイ・レイアウトも、アレイ内に変換器を高い面密度で実装するには最も相応しい。

#### 【0154】

図26に示すように、デジタル・サウンド・プロジェクトのユーザ・インターフェースは、設定、ステータスおよび制御情報の画面上表示のために、いずれかの適正に接続されたビデオ・ディスプレイ、例えば、プラズマ画面上にオーバーレイ・グラフィックスを生成する。このためには、いずれの接続されたオーディオ・ビジュアル源（例えば、DVDプレイヤー）からのビデオ信号も、表示画面までの途中で、デジタル・サウンド・プロジェクトを通過させればよく、デジタル・サウンド・プロジェクトのステータスおよびコマンド情報も、プログラム・ビデオ上に重ね合わされる。デジタル・サウンド・プロジェクトの端から端までの信号処理動作のプロセス遅延が十分に長い（例えば、変換器の線形性および必要な等化に依存する最初の2つのDSP上で動作する補償フィルタの長さが

長い場合) 場合、リップ・シンクの問題を回避するためには、オプションのビデオ・フレーム記憶部を、通過するビデオ経路に組み込み、表示されるビデオを出力サウンドと再度同期させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0155】

【図1】単純な単一入力装置を示す図。

【図2】多入力装置のブロック図。

【図3】汎用分配器のブロック図。

【図4】本発明の好適な実施形態において用いられる線形増幅器およびディジタル増幅器のブロック図。

【図5】共通の制御および入力段を有する数個のアレイの相互接続を示す図。

【0156】

【図6】本発明の第1の態様による分配器を示す図。

【図7A】本発明の第1の態様の装置を用いると得ることができる4種類の音場の内の1つを示す図。

【図7B】本発明の第1の態様の装置を用いると得ることができる4種類の音場の内の別の1つを示す図。

【図7C】本発明の第1の態様の装置を用いると得ることができる4種類の音場の内の別の1つを示す図。

【図7D】本発明の第1の態様の装置を用いると得ることができる4種類の音場の内の別の1つを示す図。

【0157】

【図8】3つのサウンド・チャンネルを室内で異なる方向に向けたときに得られる3つの異なるビーム経路を示す図。

【図9】異なる伝搬距離を考慮に入れるために各チャンネルに遅延を与える装置を示す図。

【図10】オーディオ・チャンネルに与える遅延に応じてビデオ信号を遅らせる装置を示す図。

【0158】

【図11A】本発明の第3の態様を説明するために用いられる種々のウィンドウ関数の1つを示す図。

【図11B】本発明の第3の態様を説明するために用いられる種々のウィンドウ関数の別の1つを示す図。

【図11C】本発明の第3の態様を説明するために用いられる種々のウィンドウ関数の別の1つを示す図。

【図11D】本発明の第3の態様を説明するために用いられる種々のウィンドウ関数の別の1つを示す図。

【0159】

【図12】異なるウィンドウ関数を異なるチャンネルに適用する装置を示す図。

【図13】異なる周波数を異なる方法で整形可能な装置を示すブロック図。

【図14】異なる周波数帯域を別個の出力変換器に導出する装置を示す図。

【図15】異なる周波数帯域を重複する出力変換器の組に導出する装置を示す図。

【図16】アレイの正面図を示し、記号は各変換器が出力する周波数帯域を表す図。

【0160】

【図17】本発明の第4の態様による、中央付近に密度が高い変換器領域を有する出力変換器のアレイを示す図。

【図18】細長構造を有する単体の変換器を示す図。

【図19】図18に示す変換器のアレイを示す図。

【図20】サラウンド・サウンド効果を得るための出力変換器のアレイおよび反射／共振スクリーンを示す平面図。

【図21】変換器のアレイおよび反射／共振面、ならびに表面で反射されるビーム・パタ

ーンを示す平面図。

【0161】

【図22】本発明の第7の態様による、ビデオ・カメラが取り付けられたアレイを示す側面図。

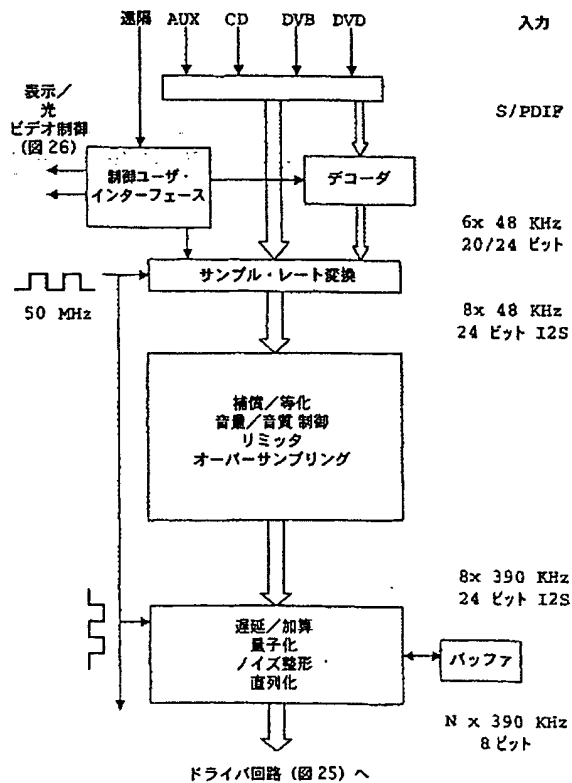
【図23】本発明の第1の態様によるラウドスピーカ・システムの典型的な設定を示す図。

【図24】本発明の第1の態様の好適な実施形態による、デジタル・ラウドスピーカ・システムの第1部分のブロック図。

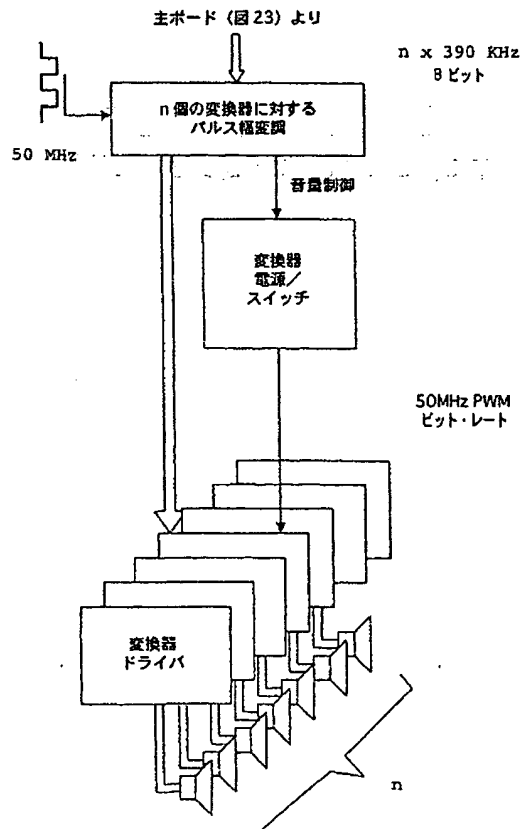
【図25】本発明の第1の態様の好適な実施形態による、デジタル・ラウドスピーカ・システムの第2部分のブロック図。

【図26】本発明の第1の態様の好適な実施形態による、デジタル・ラウドスピーカ・システムの第3部分のブロック図。

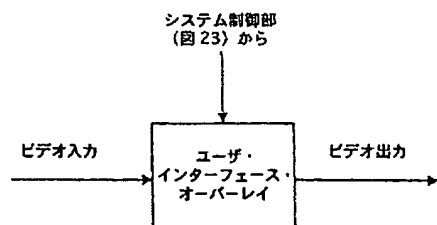
【図24】



【図25】



【図 26】



(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization  
International Bureau(43) International Publication Date  
3 October 2002 (03.10.2002)

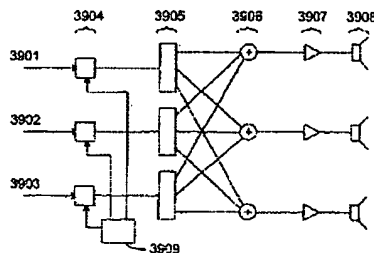
PCT

(10) International Publication Number  
WO 02/078388 A2

- (51) International Patent Classification: H04R  
 (21) International Application Number: PCT/GB02/01472  
 (22) International Filing Date: 27 March 2002 (27.03.2002)  
 (25) Filing Language: English  
 (26) Publication Language: English  
 (30) Priority Data:  
 0107699.1 27 March 2001 (27.03.2001) GB  
 0200291.5 8 January 2002 (08.01.2002) GB  
 (74) Agents: MERRYWEATHER, Collins, Henry & Co., 14 South Square, Gray's Inn, London WC1R 5JF (GB).  
 (71) Applicant (for all designated States except US): L. LIMITED (GB/GB); St John's Innovation Centre, Cowley Road, Cambridge CB4 0WS (GB).  
 (72) Inventors: and  
 (73) Inventors/Applicants (for US only): TROUGHTON, Paul, Thomas (GB/GB); 71 Cowdy Street, Cambridge CB1 2LQ (GB); HOOLEY, Anthony (GB/GB); 79 De Freville Avenue, Cambridge CB4 1JP (GB); GOUNDE, Angus, Gavin (GB/GB); 2 Canterbury Close, Cambridge CB4 3QJ (GB); EASTON, Mark, George (GB/GB); 70 Devon Way, Cambridge CB5 8QH (GB); BLENCK, Irving, Alexander (GB/GB); 26 Radcliffe Close, Cambridge CB4 3NW (GB); DAVIES, James (NZ/GB); 73 Eden Street, Cambridge CB1 1EL (GB); RYAN, Dawson, Thomas (GB/GB); 41 Millend Avenue, Cambridge CB4 1TA (GB); WINDLE, Paul, Raymond (GB/GB); 10 Blacklands Close, Suffolk Wicken, Essex CB11 4BX (GB).  
 (81) Designated States (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, FR, GB, GR, GU, HK, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PK, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, SM, SN, SR, SV, TH, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(Continued on next page)

(54) Title: METHOD AND APPARATUS TO CREATE A SOUND FIELD



(57) Abstract: The invention generally relates to a method and apparatus for taking an input signal, replicating it a number of times, and modifying each of the replicas before routing them to respective output transducers such that a desired sound field is created. This sound field may comprise a directed beam, focused beam or a simulated origin. In a first aspect, delays are added to sound channels to remove the effects of different travelling distances. In a second aspect, a delay is added to a video signal to account for the delays added to the sound channels. In a third aspect, different window functions are applied to each channel to give improved flexibility of use. In a fourth aspect, a smaller extent of transducers is used to output high frequencies than are used to output low frequencies. An array having a higher density of transducers near the centre is also provided. In a fifth aspect, a line of elongate transducers is provided to give good directivity in a plane. In a sixth aspect, sound beams are focused in front or behind surfaces to give different beam widths and simulated origins. In a seventh aspect, a camera is used to indicate where sound is directed.



WO 02/078388 A2

(84) Designated States (regions): ARIPO patent (GH, GM, KP, LS, MW, MZ, SD, SI, SZ, TZ, UG, ZM, ZW); Eurasian patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM); European patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR); OAPI patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TO).

**Published:**

— without international search report and to be republished upon receipt of that report

For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.

-1-

METHOD AND APPARATUS TO CREATE A SOUND FIELD

This invention relates to steerable acoustic antennae, and concerns in particular digital electronically-steerable acoustic antennae.

5       Phased array antennae are well known in the art in both the electromagnetic and the ultrasonic acoustic fields. They are less well known, but exist in simple forms, in the sonic (audible) acoustic area. These latter are relatively crude, and the invention seeks to provide improvements related to a superior audio acoustic array capable of being steered so as to direct its output more or less at will.

10       WO 96/31086 describes a system which uses a unary coded signal to drive an array of output transducers. Each transducer is capable of creating a sound pressure pulse and is not able to reproduce the whole of the signal to be output.

A first aspect of the present invention addresses the problem that can arise when multiple channels are output by a single array of output transducers with each  
15       channel being directed in a different direction. Due to the fact that each channel takes a different path to the listener, the channels can be audibly out of synchronism when they arrive at the listener's position.

In accordance with the first aspect, there is provided a method of creating a sound field comprising a plurality of channels of sound using an array of output  
20       transducers, said method comprising:

for each channel, selecting a first delay value in respect of each output transducer, said first delay value being chosen in accordance with the position in the array of the respective transducer;  
selecting a second delay value for each channel, said second delay value  
25       being chosen in accordance with the expected travelling distance of sound waves of that channel from said array to a listener;  
obtaining, in respect of each output transducer, a delayed replica of a signal representing each channel, each delayed replica being delayed by a value having a first component comprising said first delay value and a second component  
30       comprising said second delay value.

-2-

Also in accordance with the first aspect of the invention there is provided apparatus for creating a sound field comprising:

a plurality of inputs for a plurality of respective signals representing different sound channels;

5 an array of output transducers;

replication means arranged to obtain, in respect of each output transducer, a replica of each respective input signal;

first delay means arranged to delay each replica of each signal by a respective first delay value chosen in accordance with the position in the array of the respective

10 output transducer;

second delay means arranged to delay each replica of each signal by a second delay value chosen for each channel in accordance with the expected travelling distance of sound waves of that channel from the array to a listener.

Thus, there is provided a method and apparatus for applying two types of

15 delay to each sound channel to alleviate the effect of different travelling distances for each channel.

A second aspect of the invention addresses the problem that arises in audio-visual applications of the array of output transducers. Due to the various delays that often need to be applied to the channels to create the desired effects, the sound

20 channels can lag behind the video pictures noticeably.

According to the second aspect of the invention, there is provided a method of providing temporal correspondence between pictures and sound in an audio-visual presentation using an array of output transducers to reproduce the sound content comprising a plurality of channels, said method comprising:

25 delaying, in respect of each output transducer, a replica of each signal representing a sound channel by a respective audio delay value;

delaying a video signal by a video delay value calculated so corresponding video pictures are displayed at substantially the time the temporally corresponding sound channels reach the listener.

30 Further, in accordance with the second aspect of the present invention, there

-3-

is provided apparatus to provide temporal correspondence between pictures and a plurality of sound channels in an audio-visual presentation comprising:

an array of output transducers;

replication and delay means arranged to obtain, in respect of each output

5 transducer, a delayed replica of each signal representing a sound channel;

video delay means arranged to delay a corresponding video signal by a video delay value calculated so corresponding video pictures are displayed at substantially the time the temporally corresponding sound channels reach the listener.

This aspect of the invention thus allows the video and sound channels to  
10 arrive at the viewer/listener at the correct time (ie in temporal correspondence with one another)

A third aspect of the present invention addresses the problem that different sound channels may have different contents and thus there are different needs in terms of the directivity to be achieved by any particular beam representing a sound  
15 channel.

Accordingly, the third aspect of the invention provides a method of creating a sound field comprising a plurality of channels of sound using an array of output transducers, said method comprising:

for each channel, obtaining, in respect of each output transducer, a replica of a  
20 signal representing said channel so as to obtain a set of replica signals for each channel;

applying a first window function to a first set of replica signals originating from a first sound channel signal;

applying a second, different, window function to a second set of replica  
25 signals originating from a second sound channel signal.

Further, in accordance with the third aspect of the invention, there is provided apparatus to create a sound field comprising a plurality of channels of sound, comprising:

an array of output transducers;

30 replication means for providing, in respect of each output transducer, a replica

-4-

of a signal representing each of said plurality of channels;

5 windowing means for applying a first window function to a first set of replica signals originating from a first sound channel signal and for applying a second, different, window function to a second set of replica signals originating from a second channel signal.

This aspect therefore allows different window functions to be applied to different sound channels giving a more desirable sound field and making it easier to adjust the volume of each sound channel independently.

10 A fourth aspect of the invention addresses the problem that a large array is required to direct low frequencies whereas a smaller array can direct high frequencies to the same accuracy. Further, low frequencies require higher power than high frequencies.

In accordance with the fourth aspect of the invention there is provided a method of creating a sound field using an array of output transducers, said method comprising:

15 dividing an input signal into at least a low frequency component and a high frequency component;

using output transducers spanning a first portion of the array to output said low frequency component; and

20 using output transducers spanning a second portion of said array smaller than said first portion to output said high frequency component.

Further in accordance with the fourth aspect of the invention there is provided apparatus for creating a sound field comprising:

25 an array of output transducers wherein in a first area of the array the output transducers are more densely packed than in the remainder of said array.

This aspect therefore allows all the frequencies to be output with the desired directivity using an efficient number of output transducers.

A fifth aspect of the invention relates to an efficient configuration of array which can direct sound substantially within a desired plane.

30 In accordance with the fifth aspect of the invention there is provided an array

-5-

of output transducers positioned next to each other in a line; wherein each of said output transducers has a dimension in the direction perpendicular to said line larger than the dimension parallel to said line.

The above described configuration is particularly useful since the sound is  
 5 primarily concentrated in a plane extending horizontally out of the front of the array. The concentration to a plane is achieved due to the elongate nature of the individual transducers and the directivity is achieved due to the plurality of transducers in the array.

The sixth aspect of the invention addresses the need to direct narrow or broad  
 10 beams to a defined position using reflective or resonant surfaces in accordance with a users desire.

In accordance with the sixth aspect of the present invention there is provided A method of causing plural input signals representing respective channels to appear to emanate from respective different positions in space, said method comprising:

- 15 providing a sound reflective or resonant surface at each of said positions in space;
- providing an array of output transducers distal from said positions in space;
- and
- directing, using said array of output transducers, sound waves of each channel  
 20 towards the respective position in space to cause said sound waves to be re-transmitted by said reflective or resonant surface, said sound waves being focussed at a position in space in front of, or behind, said reflective or resonant surface;
- said step of directing comprising:
  - obtaining, in respect of each transducer, a delayed replica of each input signal  
 25 delayed by a respective delay selected in accordance with the position in the array of the respective output transducer and said respective focus position such that the sound waves of the channel are directed towards the focus position in respect of that channel;
  - summing, in respect of each transducer, the respective delayed replicas of  
 30 each input signal to produce an output signal; and

-6-

routing the output signals to the respective transducers.

Further in accordance with the sixth aspect of the present invention there is provided an apparatus for causing plural input signals representing respective channels to appear to emanate from respective different positions in space, said

5 apparatus comprising:

a sound reflective or resonant surface at each of said positions in space;

an array of output transducers distal from said positions in space; and

a controller for directing, using said array of output transducers, sound waves of each channel towards that channel's respective position in space such that said  
10 sound waves are re-transmitted by said reflective or resonant surface, said sound waves being focussed at a position in space in front of, or behind, said reflective or resonant surface;

said controller comprising:

replication and delay means arranged to obtain, in respect of each transducer,

15 a delayed replica of the input signal delayed by a respective delay selected in accordance with the position in the array of the respective output transducer and the respective focus position such that the sound waves of the channel are directed towards the focus position in respect of that input signal;

20 adder means arranged to sum, in respect of each transducer, the respective delayed replicas of each input signal to produce an output signal; and

means to route the output signals to the respective transducers such that the channel sound waves are directed towards the focus position in respect of that input signal.

The sixth aspect of the invention allows a narrow or broad beam to be re-transmitted in accordance with the focus position being chosen behind or in front of  
25 the reflector/resonator.

The seventh aspect of the invention addresses the problem that it can be difficult to determine exactly where sound is directed or focussed and there is a requirement for an intuitive method which allows an operator to control (with  
30 feedback) where the sound is directed or focussed.

-7-

In accordance with the seventh aspect of the present invention there is provided a method of selecting a direction in which to focus sound, said method comprising;

- pointing a video camera in the desired direction, using the viewfinder or other
- 5 screen means to determine if the direction is that desired;
- calculating a plurality of signal delays to be applied to a set of replicas of an input signal so as to direct sound in the selected direction.

Further in accordance with the seventh aspect of the present invention there is provided a method of determining where sound is directed, said method comprising:

- 10 automatically adjusting the direction in which a video camera points in accordance with the direction in which sound is directed;
- discerning from the viewfinder or other screen means which direction the camera is pointing in.

- Furthermore in accordance with the seventh aspect of the present invention
- 15 there is provided an apparatus for setting up or monitoring a sound field comprising:

- an array of output transducers;
- a directable video camera;

- means controlling said array of output transducers and said video camera such that said video camera points in the same direction as a sound beam from said array
- 20 is directed.

The seventh aspect of the invention thus allows a user to determine where sound is directed in an intuitive and easy manner.

- Generally, the invention is applicable to a preferably fully digital steerable
- 25 acoustic phased array antenna (a Digital Phased-Array Antennae, or DPAA) system comprising a plurality of spatially-distributed sonic electroacoustic transducers (SETs) arranged in a two-dimensional array and each connected to the same digital signal input via an input signal Distributor which modifies the input signal prior to feeding it to each SET in order to achieve the desired directional effect.

- 30 The various possibilities inherent in this, and the versions that are actually



-8-

preferred, will be seen from the following:-

The SETs are preferably arranged in a plane or curved surface (a Surface), rather than randomly in space. They may also, however, be in the form of a 2-dimensional stack of two or more adjacent sub-arrays - two or more closely-spaced  
5 parallel plane or curved surfaces located one behind the next.

Within a Surface the SETs making up the array are preferably closely spaced, and ideally completely fill the overall antenna aperture. This is impractical with real circular-section SETs but may be achieved with triangular, square or hexagonal section SETs, or in general with any section which tiles the plane. Where the SET  
10 sections do not tile the plane, a close approximation to a filled aperture may be achieved by making the array in the form of a stack of arrays - ie, three-dimensional - where at least one additional Surface of SETs is mounted behind at least one other such Surface, and the SETs in the or each rearward array radiate between the gaps in the frontward array(s).

The SETs are preferably similar, and ideally they are identical. They are, of course, sonic - that is, audio - devices, and most preferably they are able uniformly to cover the entire audio band from perhaps as low as (or lower than) 20Hz, to as much as 20KHz or more (the Audio Band). Alternatively, there can be used SETs of  
20 different sonic capabilities but together covering the entire range desired. Thus, multiple different SETs may be physically grouped together to form a composite SET (CSET) wherein the groups of different SETs together can cover the Audio Band even though the individual SETs cannot. As a further variant, SETs each capable of only partial Audio Band coverage can be not grouped but instead scattered throughout the array with enough variation amongst the SETs that the array as a  
25 whole has complete or more nearly complete coverage of the Audio Band.

An alternative form of CSET contains several (typically two) identical transducers, each driven by the same signal. This reduces the complexity of the required signal processing and drive electronics while retaining many of the advantages of a large DPAA. Where the position of a CSET is referred to  
30 hereinafter, it is to be understood that this position is the centroid of the CSET as a

-9-

whole, i.e. the centre of gravity of all of the individual SETs making up the CSET.

Within a Surface the spacing of the SETs or CSET (hereinafter the two are denoted just by SETs) - that is, the general layout and structure of the array and the way the individual transducers are disposed therein - is preferably regular, and their  
 5 distribution about the Surface is desirably symmetrical. Thus, the SETs are most preferably spaced in a triangular, square or hexagonal lattice. The type and orientation of the lattice can be chosen to control the spacing and direction of side-lobes.

Though not essential, each SET preferably has an omnidirectional  
 10 input/output characteristic in at least a hemisphere at all sound wavelengths which it is capable of effectively radiating (or receiving).

Each output SET may take any convenient or desired form of sound radiating device (for example, a conventional loudspeaker), and though they are all preferably the same they could be different. The loudspeakers may be of the type known as  
 15 pistonic acoustic radiators (wherein the transducer diaphragm is moved by a piston) and in such a case the maximum radial extent of the piston-radiators (eg. the effective piston diameter for circular SETs) of the individual SETs is preferably as small as possible, and ideally is as small as or smaller than the acoustic wavelength of the highest frequency in the Audio Band (eg in air, 20KHz sound waves have a  
 20 wavelength of approximately 17mm, so for circular pistonic transducers, a maximum diameter of about 17mm is preferable, with a smaller size being preferred to ensure omnidirectionality).

The overall dimensions of the or each array of SETs in the plane of the array are very preferably chosen to be as great as or greater than the acoustic wavelength in  
 25 air of the lowest frequency at which it is intended to significantly affect the polar radiation pattern of the array. Thus, if it is desired to be able to beam or steer frequencies as low as 300Hz, then the array size, in the direction at right angles to each plane in which steering or beaming is required, should be at least  $c_s / 300 = 1.1$  metre (where  $c_s$  is the acoustic sound speed).

30 The invention is applicable to fully digital steerable sonic/ audible acoustic

-10-

phased array antenna system, and while the actual transducers can be driven by an analogue signal most preferably they are driven by a digital power amplifier. A typical such digital power amplifier incorporates: a PCM signal input; a clock input (or a means of deriving a clock from the input PCM signal); an output clock, which  
 5 is either internally generated, or derived from the input clock or from an additional output clock input; and an optional output level input, which may be either a digital (PCM) signal or an analogue signal (in the latter case, this analogue signal may also provide the power for the amplifier output). A characteristic of a digital power amplifier is that, before any optional analogue output filtering, its output is discrete  
 10 valued and stepwise continuous, and can only change level at intervals which match the output clock period. The discrete output values are controlled by the optional output level input, where provided. For PWM-based digital amplifiers, the output signal's average value over any integer multiple of the input sample period is representative of the input signal. For other digital amplifiers, the output signal's  
 15 average value tends towards the input signal's average value over periods greater than the input sample period. Preferred forms of digital power amplifier include bipolar pulse width modulators, and one-bit binary modulators.

The use of a digital power amplifier avoids the more common requirement - found in most so-called "digital" systems - to provide a digital-to-analogue converter  
 20 (DAC) and a linear power amplifier for each transducer drive channel, and therefore the power drive efficiency can be very high. Moreover, as most moving coil acoustic transducers are inherently inductive, and mechanically act quite effectively as low pass filters, it may be unnecessary to add elaborate electronic low-pass filtering between the digital drive circuitry and the SETs. In other words, the SETs can be  
 25 directly driven with digital signals.

The DPAA has one or more digital input terminals (Inputs). When more than one input terminal is present, it is necessary to provide means for routing each input signal to the individual SETs.

This may be done by connecting each of the inputs to each of the SETs via  
 30 one or more input signal Distributors. At the most basic, an input signal is fed to a

-11-

single Distributor, and that single Distributor has a separate output to each of the SETs (and the signal it outputs is suitably modified, as discussed hereinafter, to achieve the end desired). Alternatively, there may be a number of similar Distributors, each taking the, or part of the, input signal, or separate input signals, and then each providing a separate output to each of the SETs (and in each case the signal it outputs is suitably modified, with the Distributor, as discussed hereinafter, to achieve the end desired). In this latter case - a plurality of Distributors each feeding all the SETs - the outputs from each Distributor to any one SET have to be combined, and conveniently this is done by an adder circuit prior to any further modification the resultant feed may undergo.

The Input terminals preferably receive one or more digital signals representative of the sound or sounds to be handled by the DPAA (Input Signals). Of course, the original electrical signal defining the sound to be radiated may be in an analogue form, and therefore the system of the invention may include one or more analogue-to-digital converters (ADCs) connected each between an auxiliary analogue input terminal (Analogue Input) and one of the Inputs, thus allowing the conversion of these external analogue electrical signals to internal digital electrical signals, each with a specific (and appropriate) sample rate  $F_s$ . And thus, within the DPAA, beyond the Inputs, the signals handled are time-sampled quantized digital signals representative of the sound waveform or waveforms to be reproduced by the DPAA.

The DPAA of the invention incorporates a Distributor which modifies the input signal prior to feeding it to each SET in order to achieve the desired directional effect. A Distributor is a digital device, or piece of software, with one input and multiple outputs. One of the DPAA's Input Signals is fed into its input. It preferably has one output for each SET; alternatively, one output can be shared amongst a number of the SETs or the elements of a CSET. The Distributor sends generally differently modified versions of the input signal to each of its outputs. The modifications can be either fixed, or adjustable using a control system. The modifications carried out by the distributor can comprise applying a signal delay, applying amplitude control and/or adjustably digitally filtering. These modifications

-12-

may be carried out by signal delay means (SDM), amplitude control means (ACM) and adjustable digital filters (ADFs) which are respectively located within the Distributor. It is to be noted that the ADFs can be arranged to apply delays to the signal by appropriate choice of filter coefficients. Further, this delay can be made

5 frequency dependent such that different frequencies of the input signal are delayed by different amounts and the filter can produce the effect of the sum of any number of such delayed versions of the signal. The terms "delaying" or "delayed" used herein should be construed as incorporating the type of delays applied by ADFs as well as SDMs. The delays can be of any useful duration including zero, but in general, at

10 least one replicated input signal is delayed by a non-zero value.

The signal delay means (SDM) are variable digital signal time-delay elements. Here, because these are not single-frequency, or narrow frequency-band, *phase shifting* elements but true time-delays, the DPAA will operate over a broad frequency band (eg the Audio Band). There may be means to adjust the delays

15 between a given input terminal and each SET, and advantageously there is a separately adjustable delay means for each Input/SET combination.

The minimum delay possible for a given digital signal is preferably as small or smaller than  $T_s$ , that signal's sample period; the maximum delay possible for a given digital signal should preferably be chosen to be as large as or larger than  $T_s$ , the

20 time taken for sound to cross the transducer array across its greatest lateral extent,  $D_{max}$ , where  $T_t = D_{max} / c$ , where  $c$ , is the speed of sound in air. Most preferably, the smallest incremental change in delay possible for a given digital signal should be no larger than  $T_s$ , that signal's sample period. Otherwise, interpolation of the signal is necessary.

25 The amplitude control means (ACM) is conveniently implemented as digital amplitude control means for the purposes of gross beam shape modification. It may comprise an amplifier or attenuator so as to increase or decrease the magnitude of an output signal. Like the SDM, there is preferably an adjustable ACM for each Input/SET combination. The amplitude control means is preferably arranged to

30 apply differing amplitude control to each signal output from the Distributor so as to

-13-

counteract for the fact that the DPAA is of finite size by using a window function. This is conveniently achieved by normalising the magnitude of each output signal in accordance with a predefined curve such as a Gaussian curve or a raised cosine curve. Thus, in general, output signals destined for SETs near the centre of the array  
 5 will not be significantly affected but those near to the perimeter of the array will be attenuated according to how near to the edge of the array they are.

Another way of modifying the signal uses digital filters (ADF) whose group delay and magnitude response vary in a specified way as a function of frequency (rather than just a simple time delay or level change) - simple delay elements may be  
 10 used in implementing these filters to reduce the necessary computation. This approach allows control of the DPAA radiation pattern as a function of frequency which allows control of the radiation pattern of the DPAA to be adjusted separately in different frequency bands (which is useful because the size in wavelengths of the DPAA radiating area, and thus its directionality, is otherwise a strong function of  
 15 frequency). For example, for a DPAA of say 2m extent its low frequency cut-off (for directionality) is around the 150Hz region, and as the human ear has difficulty in determining directionality of sounds at such a low frequency it may be more useful not to apply "beam-steering" delays and amplitude weighting at such low frequencies but instead to go for an optimized output level. Additionally, the use of filters may  
 20 also allow some compensation for unevenness in the radiation pattern of each SET.

The SDM delays, ACM gains and ADF coefficients can be fixed, varied in response to User input, or under automatic control. Preferably, any changes required while a channel is in use are made in many small increments so that no discontinuity is heard. Those increments can be chosen to define predetermined "roll-off" and  
 25 "attack" rates which describe how quickly the parameters are able to change.

Where more than one input is provided - ie there are  $I$  inputs numbered 1 to  $I$  and where there are  $N$  SETs, numbered 1 to  $N$ , it is preferable to provide a separate and separately-adjustable delay, amplitude control and/or filter means  $D_{in}$  (where  $I =$   
 1 to  $I$ ,  $n = 1$  to  $N$ , between each of the  $I$  inputs and each of the  $N$  SETs) for each  
 30 combination. For each SET there are thus  $I$  delayed or filtered digital signals, one

-14-

from each of the Inputs via the separate Distributor, to be combined before application to the SET. There are in general  $N$  separate SDMs, ACMs and/or ADFs in each Distributor, one for each SET. As noted above, this combination of digital signals is conveniently done by digital algebraic addition of the  $I$  separate delayed signals - ie the signal to each SET is a linear combination of separately modified signals from each of the  $I$  Inputs. The requirement to perform digital addition of signals originating from more than one Input means that the digital sampling rate converters (DSRCs) may need to be used, to synchronize these external signals, as it is generally not meaningful to perform digital addition on two or more digital signals with different clock rates and/or phases.

The DPAA system may be used with a remote-control handset (Handset) that communicates with the DPAA electronics (via wires, or radio or infra-red or some other wireless technology) over a distance (ideally from anywhere in the listening area of the DPAA), and provides manual control over all the major functions of the DPAA. Such a control system would be most useful to provide the following functions:

- 1) selection of which Input(s) are to be connected to which Distributor, which might also be termed a "Channel";
- 2) control of the focus position and/or beam shape of each Channel;
- 3) control of the individual volume-level settings for each Channel; and
- 4) an initial parameter set-up using the Handset having a built-in microphone (see later).

There may also be:

- means to interconnect two or more such DPAA's in order to coordinate their radiation patterns, their focussing and their optimization procedures;
- means to store and recall sets of delays (for the DDGs) and filter coefficients (for the ADFs);

The invention will be further described, by way of non-limitative example only, with reference to the accompanying schematic drawings, in which:-

Figure 1 shows a representation of a simple single-input apparatus;

-15-

Figure 2 is a block diagram of a multiple-input apparatus;

Figure 3 is a block diagram of a general purpose Distributor;

Figure 4 is a block diagram of a linear amplifier and a digital amplifier used in preferred embodiments of the present invention;

5       Figure 5 shows the interconnection of several arrays with common control and input stages;

Figure 6 shows a Distributor in accordance with the first aspect of the present invention;

10       Figures 7A to 7D show four types of sound field which may be achieved using the apparatus of the first aspect of the present invention;

Figure 8 shows three different beam paths obtained when three sound channels are directed in different directions in a room;

Figure 9 shows an apparatus for applying a delay to each channel to account for different travelling distances;

15       Figure 10 shows an apparatus for delaying a video signal in accordance with the delays applied to the audio channels;

Figures 11A to 11D show various window functions used to explain the third aspect of the present invention;

20       Figure 12 shows an apparatus for applying different window functions to different channels;

Figure 13 is a block diagram showing apparatus capable of shaping different frequencies in different ways;

Figure 14 shows an apparatus for routing different frequency bands to separate output transducers;

25       Figure 15 shows an apparatus for routing different frequency bands to overlapping sets of output transducers;

Figure 16 shows a front view of an array with symbols representing the frequency bands which each transducer outputs;

30       Figure 17 shows an array of output transducers having a denser region of transducers near the centre, in accordance with the fourth aspect of the invention;



-16-

Figure 18 shows a single transducer having an elongate structure;

Figure 19 shows an array of the transducers shown in Figure 18;

Figure 20 shows a plan view of an array of output transducers and reflective/resonant screens to achieve a surround sound effect;

5      Figure 21 shows a plan view of an array of transducers and reflective/resonant surfaces, with beam patterns being reflected from the surfaces;

Figure 22 shows a side view of an array having a video camera attached in accordance with the seventh aspect of the invention;

10      Figure 23 is a drawing of a typical set-up of a loudspeaker system in accordance with the first aspect of the present invention;

Figure 24 is a block diagram of a first part of a digital loudspeaker system in accordance with a preferred embodiment of the first aspect of the present invention;

15      Figure 25 is a block diagram of a second part of a digital loudspeaker system in accordance with a preferred embodiment of the first aspect of the present invention; and

Figure 26 is a block diagram of a third part of a digital loudspeaker system in accordance with a preferred embodiment of the first aspect of the present invention.

20      The description and Figures provided hereinafter necessarily describe the invention using block diagrams, with each block representing a hardware component or a signal processing step. The invention could, in principle, be realised by building separate physical components to perform each step, and interconnecting them as shown. Several of the steps could be implemented using dedicated or programmable integrated circuits, possibly combining several steps in one circuit. It will be understood that in practice it is likely to be most convenient to perform several of the  
25      signal processing steps in software, using Digital Signal Processors (DSPs) or general purpose microprocessors. Sequences of steps could then be performed by separate processors or by separate software routines sharing a microprocessor, or be combined into a single routine to improve efficiency.

30      The Figures generally only show audio signal paths; clock and control

-17-

connections are omitted for clarity unless necessary to convey the idea. Moreover, only small numbers of SETs, Channels, and their associated circuitry are shown, as diagrams become cluttered and hard to interpret if the realistically large numbers of elements are included.

5 Before the respective aspects of the present invention are described, it is useful to describe embodiments of the apparatus which are suitable for use in accordance with any of the respective aspects.

The block diagram of Figure 1 depicts a simple DPAA. An input signal (101) feeds a Distributor (102) whose many (6 in the drawing) outputs each connect  
10 through optional amplifiers (103) to output SETs (104) which are physically arranged to form a two-dimensional array (105). The Distributor modifies the signal sent to each SET to produce the desired radiation pattern. There may be additional processing steps before and after the Distributor, as illustrated later.

Figure 2 shows a DPAA with two input signals (501,502) and three  
15 Distributors (503-505). Distributor 503 treats the signal 501, whereas both 504 and 505 treat the input signal 502. The outputs from each Distributor for each SET are summed by adders (506), and pass through amplifiers 103 to the SETs 104.

Figure 3 shows the components of a Distributor. It has a single input signal (101) coming from the input circuitry and multiple outputs (802), one for each SET  
20 or group of SETs. The path from the input to each of the outputs contains a SDM (803) and/or an ADF (804) and/or an ACM (805). If the modifications made in each signal path are similar, the Distributor can be implemented more efficiently by including global SDM, ADF and/or ACM stages (806-808) before splitting the signal. The parameters of each of the parts of each Distributor can be varied under  
25 User or automatic control. The control connections required for this are not shown.

Figure 4 shows possible power amplifier configurations. In one option, the input digital signal (1001), possibly from a Distributor or adder, passes through a DAC (1002) and a linear power amplifier (1003) with an optional gain/volume control input (1004). The output feeds a SET or group of SETs (1005). In a  
30 preferred configuration, this time illustrated for two SET feeds, the inputs (1006)

-18-

directly feed digital amplifiers (1007) with optional global volume control input (1008). The global volume control inputs can conveniently also serve as the power supply to the output drive circuitry. The discrete-valued digital amplifier outputs optionally pass through analogue low-pass filters (1009) before reaching the SETs (1005).

Figure 5 illustrates the interconnection of three DPAA's (1401). In this case, the inputs (1402), input circuitry (1403) and control systems (1404) are shared by all three DPAA's. The input circuitry and control system could either be separately housed or incorporated into one of the DPAA's, with the others acting as slaves. Alternatively, the three DPAA's could be identical, with the redundant circuitry in the slave DPAA's merely inactive. This set-up allows increased power, and if the arrays are placed side by side, better directivity at low frequencies.

The apparatus of Figures 6 and 7A to 7D has the general structure shown in Figure 1. Figure 6 shows a preferable Distributor (102) in further detail. As can be seen from Figure 6, the input signal (101) is routed to a replicator (1504) by means of an input terminal (1514). The replicator (1504) has the function of copying the input signal a pre-determined number of times and providing the same signal at said pre-determined number of output terminals (1516). Each replica of the input signal is then supplied to the means (1506) for modifying the replicas. In general, the means (1506) for modifying the replicas includes signal delay means (1508), amplitude control means (1510) and adjustable digital filter means (1512). However, it should be noted that the amplitude control means (1510) is purely optional. Further, one or other of the signal delay means (1508) and adjustable digital filter (1512) may also be dispensed with. The most fundamental function of the means (1506) to modify replicas is to provide that different replicas are in some sense delayed by generally different amounts. It is the choice of delays which determines the sound field achieved when the output transducers (104) output the various delayed versions of the input signal (101). The delayed and preferably otherwise modified replicas are output from the Distributor (102) via output terminals (1516).

-19-

As already mentioned, the choice of respective delays carried by each signal delay means (1508) and/or each adjustable digital filter (1512) critically influences the type of sound field which is achieved. In general, there are four particularly advantageous sound fields which can be linearly combined.

5

#### First Sound Field

A first sound field is shown in Figure 7A.

The array (105) comprising the various output transducers (104) is shown in  
10 plan view. Other rows of output transducers may be located above or below the illustrated row.

The delays applied to each replica by the various signal delay means (508) are set to be the same value, eg 0 (in the case of a plane array as illustrated), or to values that are a function of the shape of the Surface (in the case of curved surfaces). This  
15 produces a roughly parallel "beam" of sound representative of the input signal (101), which has a wave front F parallel to the array (105). The radiation in the direction of the beam (perpendicular to the wave front) is significantly more intense than in other directions, though in general there will be "side lobes" too. The assumption is that the array (105) has a physical extent which is one or several wavelengths at the sound  
20 frequencies of interest. This fact means that the side lobes can generally be attenuated or moved if necessary by adjustment of the ACMs or ADFs.

The mode of operation may generally be thought of as one in which the array (105) mimics a very large traditional loudspeaker. All of the individual transducers (104) of the array (105) are operated in phase to produce a symmetrical beam with a  
25 principle direction perpendicular to the plane of the array. The sound field obtained will be very similar to that which would be obtained if a single large loudspeaker having a diameter D was used.

#### Second Sound Field

30

-20-

The first sound field might be thought of as a specific example of the more general second sound field.

Here, the delay applied to each replica by the signal delay means (1508) or adjustable digital filter (1512) is made to vary such that the delay increases systematically amongst the transducers (104) in some chosen direction across the surface of the array. This is illustrated in Figure 7B. The delays applied to the various signals before they are routed to their respective output transducer (104) may be visualised in Figure 7B by the dotted lines extending behind the transducer. A longer dotted line represents a longer delay time. In general, the relationship between the dotted lines and the actual delay time will be  $d_t = t_d \cdot c$  where  $d$  represents the length of the dotted line,  $t$  represents the amount of delay applied to the respective signal and  $c$  represents the speed of sound in air.

As can be seen from Figure 7B, the delays applied to the output transducers increase linearly as you move from left to right in Figure 7B. Thus, the signal routed to the transducer (104a) has substantially no delay and thus is the first signal to exit the array. The signal routed to the transducer (104b) has a small delay applied so this signal is the second to exit the array. The delays applied to the transducers (104c, 104d, 104e etc) successively increase so that there is a fixed delay between the outputs of adjacent transducers.

Such a series of delays produces a roughly parallel "beam" of sound similar to that produced for the first sound field except that now the beam is angled by an amount dependent on the amount of systematic delay increase that was used. For very small delays ( $t_d \ll T_{\text{array}}$ ) the beam direction will be very nearly orthogonal to the array (105); for larger delays ( $\text{max } t_d \sim T_{\text{array}}$ ) the beam can be steered to be nearly tangential to the surface.

As already described, sound waves can be directed without focussing by choosing delays such that the same temporal parts of the sound waves (those parts of the sound waves representing the same information) from each transducer together form a front  $F$  travelling in a particular direction.

By reducing the amplitudes of the signals presented by a Distributor to the

-21-

SETs located closer to the edges of the array (relative to the amplitudes presented to the SETs closer to the middle of the array), the level of the side lobes (due to the finite array size) in the radiation pattern may be reduced. For example, a Gaussian or raised cosine curve may be used to determine the amplitudes of the signals from each SET. A trade off is achieved between adjusting for the effects of finite array size and the decrease in power due to the reduced amplitude in the outer SETs.

#### 10 Third Sound Field

If the signal delay applied by the signal delay means (1508) and/or the adaptive digital filter (1512) is chosen such that the sum of the delay plus the sound travel time from that SET (104) to a chosen point in space in front of the DPAA are for all of the SETs the same value - ie. so that sound waves arrive from each of the output transducers at the chosen point as in-phase sounds - then the DPAA may be caused to focus sound at that point, P. This is illustrated in Figure 7C.

As can be seen from Figure 7C, the delays applied at each of the output transducers (104a through 104h) again increase, although this time not linearly. This causes a curved wave front F which converges on the focus point such that the sound intensity at and around the focus point (in a region of dimensions roughly equal to a wavelength of each of the spectral components of the sound) is considerably higher than at other points nearby.

The calculations needed to obtain sound wave focussing can be generalised as follows:-

$$\text{focal point position vector, } \mathbf{f} = \begin{bmatrix} f_x \\ f_y \\ f_z \end{bmatrix}$$

-22-

$$\text{nth transducer position, } \mathbf{p}_n = \begin{bmatrix} p_{nx} \\ p_{ny} \\ p_{nz} \end{bmatrix}$$

$$\text{transit time for nth transducer, } t_n = \frac{1}{c} \sqrt{(\mathbf{f} - \mathbf{p}_n)^T (\mathbf{f} - \mathbf{p}_n)}$$

$$\text{required delay for each transducer, } d_n = k - t_n$$

where  $k$  is a constant offset to ensure that all delays are positive and hence realisable.

5

The position of the focal point may be varied widely almost anywhere in front of the DPAA by suitably choosing the set of delays as previously described.

#### Fourth Sound Field

10

Figure 7D shows a fourth sound field wherein yet another rationale is used to determine the delays applied to the signals routed to each output transducer. In this embodiment, Huygens wavelet theorem is invoked to simulate a sound field which has an apparent origin  $O$ . This is achieved by setting the signal delay created by the signal delay means (1508) or the adaptive digital filter (1512) to be equal to the sound travel time from a point in space behind the array to the respective output transducer. These delays are illustrated by the dotted lines in Figure 7D.

It will be seen from Figure 7D that those output transducers located closest to the simulated origin position output a signal before those transducers located further away from the origin position. The interference pattern set up by the waves emitted from each of the transducers creates a sound field which, to listeners in the near field in front of the array, appears to originate at the simulated origin.

Hemispherical wave fronts are shown in Figure 7D. These sum to create the wave front  $F$  which has a curvature and direction of movement the same as a wave

-23-

front would have if it had originated at the simulated origin. Thus, a true sound field is obtained. The equation for calculating the delays is now:-

$$d_n = t_n - j$$

where  $t_n$  is defined as in the third embodiment and  $j$  is an arbitrary offset.

5

It can be seen, therefore, that the general method utilised involves using the replicator (1504) to obtain  $N$  replica signals, one for each of the  $N$  output transducers. Each of these replicas are then delayed (perhaps by filtering) by respective delays which are selected in accordance with both the position of the  
10 respective output transducer in the array and the effect to be achieved. The delayed signals are then routed to the respective output transducers to create the appropriate sound field.

The distributor (102) preferably comprises separate replicating and delaying means so that signals may be replicated and delays may be applied to each replica.

15 However, other configurations are included in the present invention, for example, an input buffer with  $N$  taps may be used, the position of the tap determining the amount of delay.

The system described is a linear one and so it is possible to combine any of the above four effects by simply adding together the required delayed signals for a  
20 particular output transducer. Similarly, the linear nature of the system means that several inputs may each be separately and distinctly focussed or directed in the manner described above, giving rise to controllable and potentially widely separated regions where distinct sound fields (representative of the signals at the different inputs) may be established remote from the DPAA proper. For example, a first  
25 signal can be made to appear to originate some distance behind the DPAA and a second signal can be focussed on a position some distance in front of the DPAA.

#### First Aspect of the Invention



-24-

The first aspect of the invention relates to the use of a DPAA in a multichannel system. As already described, different channels may be directed in different directions using the same array to provide special effects. Figure 8 schematically shows this in plan view the array (3801) is used to direct a first beam of sound (B1) substantially straight ahead towards a listener (X). This can be either focussed or not as shown in Figures 7A or 7B. A second beam (B2) is directed at a slight angle, so that the beam passes by the listener (X) and undergoes multiple reflections from the walls (3802), eventually reaching the listener again. A third beam (B3) is directed at a stronger angle so that it bounces once off the side wall and reaches the listener. A typical application for such a system is a home cinema system in which Beam B1 represents a centre sound channel, beam B2 represents a right surround (right rear speaker in conventional systems) sound channel and beam B3 represents a left sound channel. Further beams for the right channel and left surround channel may also be present but are omitted from Figure 8 for clarity. As is evident, the beams travel different distances before reaching the user. For example, the centre beam may travel 4.8m, the left and right channels may travel 7.8m and the surround channels travel 12.4m. To account for this, an extra delay can be applied to the channels which travel the shortest distance so that each channel reaches the user substantially simultaneously.

Apparatus for achieving this is shown in Figure 9. Three channels (3901,3902,3903) are input to respective delay means (3904). The delay means (3904) delay each channel in time by an amount determined by a delay controller (3909). The delayed channels then pass to distributors (3905), adders (3906), amplifiers (3907) and output transducers (3908). The distributors (3905) replicate and delay the replicas so as to direct the channels in different directions as shown in Figure 8. The delay controller (3909) chooses delays based on the expected distance sound waves of that channel will travel before reaching the user. Using the above example, the surround channel travels the furthest and so is not delayed at all. The left channel is delayed by 13.5 ms so it arrives at the same time as the surround channel and the centre channel is delayed by 22.4 ms so that it arrives at the same

-25-

time as the surround channel and the left channel. This ensures that all channels reach the listener at the same time. If the direction of the channels is changed, the delay controller (3909) can take account of this and adjust the delays accordingly. In Figure 9, the delay means (3904) are shown before the distributors. However, they may beneficially be incorporated into the distributors so that the delay controller (3909) inputs a signal to each distributor and this delay is applied to all replicated signals output by that distributor. Further, in another practical alternative, there can be used a single delay controller (3909) which chooses the resultant delay for each channel replica and thus sends delay data to each distributor, without the need for separate delaying elements (3904).

#### Second Aspect of the Invention

In the above described first aspect, the delays in the sound reaching the user can be considerable and become more noticeable as they increase in magnitude. For audio-video applications, this can cause the pictures to lead the sound giving an unpleasant effect. This problem can be solved by use of the apparatus shown in Figure 10. Corresponding audio and video signals are supplied from a source such as a DVD player (4001). These signals are read out simultaneously and have a temporal correspondence. A channel splitter (4004) is used to obtain each channel of audio from the audio signal and each channel is applied to the apparatus shown in Figure 9. The audio delay controller (3909) is connected to a video delay means (4005) so that the video signal can be delayed by an appropriate amount so that sound and pictures reach the user at the same time. The output from the video delay means is then output to screen means (4006). The video delay applied is generally calculated with reference to the greatest distance travelled by a sound beam, ie the surround channel in Figure 8. The video delay in this case would be set to be equal to the travel time of beam B2, which is not delayed by audio delay means (3904). It is usually desirable to delay the video signal by an integer number of frames, meaning that the video delay values are only approximately equal to the calculated value. Even the

-26-

surround channels may undergo some delay due to any processing (eg filtering) they undergo. Thus, a further component may be added to the video delay value to account for this processing delay. Further, it is often simpler to delay the video signal until the sound that reaches the listener on a direct path (eg Beam B1 in Figure 8) leaves the speaker. The resulting error is generally small, and listeners are accustomed to it from current AV systems. Claims 11 and 16 are intended to cover the system whereby this and approximations due to integer video frames are used, by virtue of the phrase "at substantially the time".

As a refinement, the video delay means can be connected (see dotted line in Figure 10) as well to each distributor (3905) so that appropriate account can be taken of any delays applied for reasons of beam directivity too. As a further refinement, the video-processing circuitry can be used to provide an on-screen display of the user interface of the sound system. In a more general software embodiment, each component of audio delay would be calculated by a microprocessor as part of a program and a complete delay value would be calculated for each replica. These values would then be used to calculate the appropriate video delay.

#### Third Aspect of the Invention

When multiple channels are used, it can be beneficial to apply a different window function to each channel. The window function reduces the effects of "side lobes" at the expense of power. The type of window function used is chosen dependent on the qualities required of the resultant beam. Thus, if beam directivity is important, a window function as is shown in Figure 11A should be used. If less directivity is required, a more gentle function as shown in Figure 11D can be used.

An apparatus for achieving this is shown in Figure 12. This apparatus is substantially the same as that shown in Figure 9, except the extra delay means (3904) are omitted. Such extra delay means can be combined with this aspect of the invention however. An extra component (4101) is positioned after the distributors in Figure 12. This component applies the windowing function. This component can

-27-

beneficially be combined with the distributors but is shown separately for clarity. The windowing means (4101) applies a window function to the set of replicas for a channel. Thus, the system can be configured so that different window functions are chosen for each channel.

5 This system has a further advantage. Channels having a high bass content are generally required to have a high level and directivity is not so important. Thus, the window function can be altered for such channels to meet these needs. An example is shown in Figures 11A-D. Figure 11A shows a typical window function. Transducers near the outside of array (4102) have a lower output level than those in  
10 the centre to reduce side lobes and improve directivity. If the volume is turned up, all output levels increase and some transducers in the centre of the array may saturate (see Figure 11B), having reached full scale deflection (FSD). To avoid this, the shape of the window function can be changed instead of merely amplifying the output of each transducer. This is shown in Figures 11C and 11D. As the volume is  
15 increased, the outer transducers play a greater role in contributing to the overall sound. Although this increases the side lobes, it also increases the power output giving a louder sound, without any clipping (saturation).

The above technique is most important for the higher frequency components. Thus, the present aspect can be combined with the fourth aspect (see later)  
20 advantageously. For lower frequencies, where directivity is less attainable and less important a flat ("Boxcar") window function may be used to achieve maximum power output. Also, the changing of the window function to account for increased volume as shown in figure 11D is not essential and saturation as shown in Figure 11B may not in practice appreciably deteriorate quality since the windows still falls  
25 off to zero avoiding a discontinuity at the edges and a discontinuity in level is more damaging than a discontinuity in gradient, as shown in Figure 11B.

#### Fourth Aspect of the Invention

30 The directivity achievable with the array is a function of the frequency of the

-28-

signal to be directed and the size of the array. To direct a low frequency signal, a larger array is necessary than to direct a high frequency signal with the same resolution. Furthermore, low frequencies generally require more power than high frequencies. Thus, it is advantageous to split an input signal into two or more  
 5 frequency bands and deal with these frequency bands separately in terms of the directivity which is achieved using the DPAA apparatus.

Figure 13 illustrates the general apparatus for selectively beaming distinct frequency bands.

Input signal 101 is connected to a signal splitter/combiner (2903) and hence  
 10 to a low-pass-filter (2901) and a high-pass-filter (2902) in parallel channels. Low-pass-filter (2901) is connected to a Distributor (2904) which connects to all the adders (2905) which are in turn connected to the N transducers (104) of the DPAA (105).

High-pass-filter (2902) connects to a device (102) which is the same as  
 15 device (102) in Figure 1 (and which in general contains within it N variable-amplitude and variable-time delay elements), which in turn connects to the other ports of the adders (2905).

The system may be used to overcome the effect of far-field cancellation of the low frequencies, due to the array size being small compared to a wavelength at those  
 20 lower frequencies. The system therefore allows different frequencies to be treated differently in terms of shaping the sound field. The lower frequencies pass between the source/detector and the transducers (2904) all with the same time-delay (nominally zero) and amplitude, whereas the higher frequencies are appropriately time-delayed and amplitude-controlled for each of the N transducers independently.  
 25 This allows anti-beaming or nulling of the higher frequencies without global far-field nulling of the low frequencies.

It is to be noted that the method according to the fourth aspect of the invention can be carried out using the adjustable digital filters (512). Such filters allow different delays to be accorded to different frequencies by simply choosing  
 30 appropriate values for the filter coefficients. In this case, it is not necessary to

-29-

separately split up the frequency bands and apply different delays to the replicas derived from each frequency band. An appropriate effect can be achieved simply by filtering the various replicas of the single input signal.

Figure 14 shows another embodiment of this aspect in which different sets of  
 5 output transducers of the array are used to transmit different frequency bands of the input signal (101). As in Figure 13, the input signal (101) is split into a high frequency band by a high pass filter (3402) and a low frequency band by a low pass filter (3405). The low frequency signal is routed to a first set of transducers (3404) and the high frequency band is routed to a second set of transducers (3405). The first  
 10 set of transducers (3404) span a larger physical extent of the array than the high frequency transducers (3405) do. Typically, the extent (that is, the magnitude of a characteristic dimension) spanned by a set of transducers is roughly proportional to the shortest wavelength to be transmitted. This gives roughly equal directivity for both (or all if more than two) frequency bands.

Figures 15 shows a further embodiment of this aspect in which some output  
 15 transducers are shared between bands. Again, the signal is split into low and high frequency components by lowpass filter (3501) and a high pass filter (3502). The low frequency distributor (3503) routes appropriately delayed replicas of the low frequency component of the input signal to a first set of the output transducers  
 20 (3505). In this example, this first set comprises all the transducers in the array. The high frequency distributor routes the high frequency component of the input signal to a second set of output transducers (3506). These transducers are a subset of the whole array and, as shown in the Figure, may be the same ones as are used to output the low frequency component. In this case, adders (3504) are required to add the low  
 25 frequency and high frequency signals prior to output. Thus, in this embodiment, more transducers are used to output the low frequency component and thus more power can be achieved where it is needed at the low frequencies. To further improve the power output at low frequencies, the outer transducers (which output solely low frequencies) can be larger and more powerful.

30 This method has the advantage that the directivity achieved is the same across

-30-

all frequencies and a minimum of transducers are used for the high frequencies, resulting in decreased complexity and cost. This is especially the case when a set-up such as is shown in Figure 14 is used, with low-frequency specific transducers around the outside of the array and high frequency transducers near the centre. This  
 5 has the further advantage that cheaper limited range transducers may be used rather than full-range transducers.

Figure 16 shows schematically a front view of an array of transducers, each symbol representing a transducer (note the symbols are not intended to relate in any way to the shape of the transducers used). When the method of Figure 14 is used, the  
 10 square symbols represent transducers which are used to output low frequency components. The circle symbols represent transducers which output mid-range components and the triangle symbols represent transducers which output high frequency components.

When the method of Figure 15 is used, the triangle symbols represent  
 15 transducers which output components of all three frequency ranges. The circle symbols represent transducers which output only mid-range and low frequency signals and the square symbols represent transducers which output only low frequencies.

This aspect of the invention is fully compatible with the above-described  
 20 third aspect since windowing functions can be used, with the calculation taking place after the distributors (3403, 3503, 3507). When dedicated transducers are used (as in Figure 14), the "hole" in the low frequency window function caused by the presence of a centre array of high frequency transducers is not usually detrimental to performance, especially if the hole is sufficiently small with respect to the shortest  
 25 wavelengths reproduced by the low frequency channel.

It is evident from Figure 16 that less transducers are used for the high frequencies than for the low frequencies and that the spacing between adjacent transducers is constant. However, the maximum acceptable transducer spacing is a function of wavelength so that to avoid sidelobes at high frequencies requires more  
 30 tightly packed (eg every  $\lambda/2$ ) transducers. This makes it expensive in terms of

-31-

transducers and drive electronics to cover an area large enough to direct low frequencies on the one hand but with tightly spaced transducers to direct high frequencies on the other hand. To solve this problem, an array as shown in Figure 17 is provided. This array has a higher than average density of output transducers located near the centre portion. Thus, more closely packed transducers can be used to output the high frequencies without increasing the extent of the array and thus the directivity of the beam. The large low frequency area is covered by less closely packed transducers whereas the central high frequency area has a more tightly packed area, optimising cost and performance at all frequencies. In Figure 17, the squares merely show the presence of a transducer and not the shape or the type of signal output, as in Figure 16.

#### Fifth Aspect of the Invention

Figure 18 shows a transducer having a length L longer than its width W. This transducer can advantageously be used in an array of like transducers as shown in Figure 19. Here, the transducers 3701 are positioned next to one another in a line such that the line extends in the perpendicular direction to the longest side of each transducer. This arrangement provides a sound field which can be directed well in the horizontal plane and which, thanks to the elongated shape of each transducer, has most of its energy in the horizontal plane. There is very little sound energy directed to other planes resulting in good efficiency of operation. Thus, the fifth aspect provides a 1-dimensional array made of elongated transducers which gives tight directivity in one direction (thanks to the elongated shape) and controllable directivity in the other (thanks to the array nature). The aspect ratio of each transducer is preferably at least 2:1, more preferably 3:1 and more preferably still 5:1. The elongate nature of each transducer causes the effect of sound being concentrated in a plane whereas the array of transducers in a line gives good directivity within the plane. This array may be used as the array in any of the other aspects of the invention.



-32-

Sixth Aspect of the Invention

The sixth aspect of the invention relates to the use of a DPAA system to create a surround sound or stereo effect using only a single sound emitting apparatus similar to the apparatus described above. Particularly, the sixth aspect of the invention relates to directing different channels of sound in different directions so that the sound waves impinge on a reflective or resonant surface and are re-transmitted thereby.

This sixth aspect of the invention addresses the problem that where the DPAA is operated outdoors (or any other place having substantially anechoic conditions) an observer needs to move close to those regions in which sound has been focussed in order to easily perceive the separate sound fields. It is otherwise difficult for the observer to locate the separate sound fields which have been created.

If an acoustic reflecting surface, or alternatively an acoustically resonant body which re-radiates absorbed incident sound energy, is placed in the path of a sound beam, it re-radiates the sound, and so effectively becomes a new sound source, remote from the DPAA, and located at a region determined by the focussing used (if any). If a plane reflector is used then the reflected sound is predominantly directed in a specific direction; if a diffuse reflector is present then the sound is re-radiated more or less in all directions away from the reflector on the same side of the reflector as the sound is incident from the DPAA. Thus, if a number of distinct sound signals representative of distinct input signals are directed towards distinct regions by the DPAA in the manner described, and within each region is placed such a reflector or resonator so as to redirect the sound from each region, then a true multiple separated-source sound radiator system may be constructed using a single DPAA of the design described herein.

Figure 20 illustrates the use of a single DPAA and multiple reflecting or resonating surfaces (2102) to present multiple sources to listeners (2103). As it does not rely on psychoacoustic cues, the surround sound effect is audible throughout the listening area.

-33-

The sound beams may be unfocussed, as described above with reference to Figures 7A or 7B, or focussed, as described above with reference to Figure 7C. The focus position can be chosen to be either in front of, at, or behind the respective reflector/resonator to achieve the desired effect. Figure 21 schematically shows the effect achieved when a sound beam is focussed in front of and behind a reflector respectively. The DPAA (3301) is operable to direct sound towards the reflectors (3302 & 3303) set up in a room (3304).

In the case when a sound beam is focussed in front of a reflector (3302) at a point F1 (See Figure 21), the beam narrows at the focus point and spreads out thereafter. The beam continues to spread after reflection from reflector and a listener at position P1 will hear the sound. Due to this reflection, the user will perceive the sound as emanating from the ghost focal point F1'. Thus the listener at P1 will perceive the sound as emanating from outside the room (3304). Further, the beam obtained is quite broad so that a large proportion of listeners in the bottom half of the room (3304) will hear the sound.

In the case when a sound beam is focussed behind a reflector (3303) at a point F2 (See Figure 21), the beam is reflected before it has fully narrowed to the focus point. After reflection, the beam spreads out and a listener at position P2 will be able to hear the sound. Due to the reflection, the user will perceive the sound as emanating from the reflected focal point F2' in front of the reflector. Thus the listener at P1 will perceive the sound as emanating from close by. Further, the beam obtained is quite narrow so that it is possible to direct sound to a smaller proportion of the listeners in the room. Thus, it can be advantageous for the above reasons to focus the beams at positions other than the reflector/resonator.

Where the DPAA is operated in the manner previously described with multiple separated beams - i.e. with sound signals representative of distinct input signals directed to distinct and separated regions - in non-anechoic conditions (such as in a normal room environment) wherein there are multiple hard and/or predominantly sound reflecting boundary surfaces, and in particular where those regions are directed at one or more of the reflecting boundary surfaces, then using

-34-

only his normal directional sound perceptions an observer is easily able to perceive the separate sound fields, and simultaneously locate each of them in space at their respective separate focal regions (if there is one), due to the reflected sounds (from the boundaries) reaching the observer from those regions.

- 5 It is important to emphasise that in such a case the observer perceives real separated sound fields which in no way rely on the DPAA introducing artificial psycho-acoustic elements into the sound signals. Thus, the position of the observer is relatively unimportant for true sound location, so long as he is sufficiently far from the near-field radiation of the DPAA. In this manner, multi-channel "surround-  
10 "sound" can be achieved with only one physical loudspeaker (the DPAA), making use of the natural boundaries found in most real environments.

- Where similar effects are to be produced in an environment lacking appropriate natural reflecting boundaries, similar separated multi-source sound fields can be achieved by the suitable placement of artificial reflecting or resonating  
15 surfaces where it is desired that a sound source should seem to originate, and then directing beams at those surfaces. For example, in a large concert hall or outside environment optically-transparent plastic or glass panels could be placed and used as sound reflectors with little visual impact. Where wide dispersion of the sound from those regions is desired, a sound scattering reflector or broadband resonator could be  
20 introduced instead (this would be more difficult but not impossible to make optically transparent).

A spherical reflector can be used to achieve diffuse reflection over a wide angle. To further enhance the diffuse reflection effect, the surfaces should have a roughness on the scale of the wavelength of sound frequency it is desired to diffuse.

- 25 The great advantage of this aspect of the present invention is that all of the above may be achieved with a single DPAA apparatus, the output signals for each transducer being built up from summations of delayed replicas of input signals. Thus, much wiring and apparatus traditionally associated with surround sound systems is dispensed with.

Seventh Aspect of the Invention

The seventh aspect of the invention addresses the problem that a user of the DPAA system may not always be easily able to locate where sound of a particular channel is being directed or focussed at any particular time. Conversely, the user may want to direct or focus sound at a particular position in space which requires a complex calculation as to the correct delays to apply etc. This problem is alleviated by providing a video camera means which can be caused to point in a particular direction. Means connected to the video camera can then be used to calculate which

direction the camera is pointing in and adjust the delays accordingly. Advantageously, the camera is under the direct control of the operator (for example on a tripod or using a joystick) and the DPAA controller is arranged to cause sound channel directing to occur wherever the operator causes the camera to point. This provides a very easy to set up system which does not rely on creating mathematical models of the room or other complex calculations.

Advantageously, means may be provided to detect where in the room the camera is focussed. Then, the sound beams can be focussed on the same spot. This makes setting up a system very simple since markers can be placed in a room where sound is desired to be focussed and then a camera lens can be focussed on those markers by an operator looking at a television monitor. The system can then automatically set up the software to calculate the correct delays for focussing sound to that spot. Alternatively, reference points in the room can be identified to select sound focussing. For example, a simple model of the room can be pre-programmed so that an operator can select objects in the field of view of the camera so determine the focussing distance. In both the case when the camera focus distance is used and when a room model is used, it is advantageous to employ a coordinate transform from camera (pan, tilt, distance) or room (x,y,z) to speaker (rotation, elevation, distance), where the two coordinate systems have different origins.

In the reverse mode of operation, the camera may be steered automatically by the DPAA electronics such that it points toward the direction in which a beam is

-36-

currently being steered, with an automatic focussing on the point where sound focussing occurs, if at all. This provides a great deal of useful set-up feedback information to the operator.

Means to select which channel settings are controlled by the camera position  
5 should also be provided and these may all be controlled from the handset.

Figure 22 illustrates in side view the use of a video camera (3602) positioned on a DPAA (3601) to point at the same point in which sound is focussed. The camera can be steerable using a servo motor (3603). Alternatively, the camera can be mounted on a separate tripod or be hand held or be part of an extant CCTV system.

10 For CCTV applications, where a plurality of cameras are used to cover an area, a single array can be used to direct sound to any position in the area which one of the cameras is pointing at. Thus, an operator can direct sound (such as voice commands or instructions) to a specific point in the area/room by selecting a camera pointing at that point and speaking into a microphone.

15

#### Further Preferable Features

There may be provided means to adjust the radiation pattern and focussing points of signals related to each input, in response to the value of the programme  
20 digital signals at those inputs - such an approach may be used to exaggerate stereo signals and surround-sound effects, by moving the focussing point of those signals momentarily outwards when there is a loud sound to be reproduced from that input only. Thus, the steering can be achieved in accordance with the actual input signal itself.

25 In general, when the focus points are moved, it is necessary to change the delays applied to each replica which involves duplicating or skipping samples as appropriate. This is preferably done gradually so as to avoid any audible clicks which may occur if a large number of samples are skipped at once for example.

Practical applications of this invention's technology include the following:  
30 for home entertainment, the ability to project multiple real sources of sound

-37-

to different positions in a listening room allows the reproduction of multi-channel surround sound without the clutter, complexity and wiring problems of multiple separated wired loudspeakers;

for public address and concert sound systems, the ability to tailor the

- 5 radiation pattern of the DPAA in three dimensions, and with multiple simultaneous beams allows:

much faster set-up as the physical orientation of the DPAA is not very critical and need not be repeatedly adjusted;

- 10 smaller loudspeaker inventory as one type of speaker (a DPAA) can achieve a wide variety of radiation patterns which would typically each require dedicated speakers with appropriate horns;

better intelligibility, as it is possible to reduce the sound energy reaching reflecting surfaces, hence reducing dominant echoes, simply by the adjustment of filter and delay coefficients; and

- 15 better control of unwanted acoustic feedback as the DPAA radiation pattern can be designed to reduce the energy reaching live microphones connected to the DPAA input;

for crowd-control and military activities, the ability to generate a very intense sound field in a distant region, which field is easily and quickly repositionable, by

- 20 focussing and steering of the DPAA beams (without having physically to move bulky loudspeakers and/or horns) and which is easily directed onto the target by means of tracking light sources, and provides a powerful acoustic weapon which is nonetheless non-invasive; if a large array is used, or a group of coordinated separate DPAA panels possibly widely spaced, then the sound field can be made much more intense  
25 in the focal region than near the DPAA SETs (even at the lower end of the Audio Band if the overall array dimensions are sufficiently large).

Any of the previously described aspects may be combined together in a practical device to provide the stated advantages.

-38-

Preferred Embodiment of the First Aspect of the Invention

There now follows a description of a preferred embodiment of the first aspect of the present invention, which, as will become apparent, utilises also the techniques  
 5 of the other above-described aspects.

Referring to Figure 23, a digital sound projector 10 comprises an array of transducers or loudspeakers 11 that is controlled such that audio input signals are emitted as a beam of sound 12-1, 12-2 that can be directed into an - within limits - arbitrary direction within the half-space in front of the array. By making use of  
 10 carefully chosen reflection paths, a listener 13 will perceive a sound beam emitted by the array as if originating from the location of its last reflection.

In Figure 23, two sound beams 12-1 and 12-2 are shown. The first beam 12-1 is directed onto a side-wall 161 that may be part of a room and reflected directly onto the listener 13. The listener perceives this beam as originating from reflection spot  
 15 17, thus from the right. The second beam 12-2, indicated by dashed lines, undergoes two reflections before reaching the listener 13. However, as the last reflection happens in a rear corner, the listener will perceive the sound as if emitted from a source behind him or her.

Whilst there are many uses to which a digital sound projector could be put, it  
 20 is particularly advantageous in replacing conventional surround-sound systems employing several separate loudspeakers placed at different locations around a listener's position. The digital sound projector, by generating beams for each channel of the surround-sound audio signal, and steering the beams into the appropriate directions, creates a true surround-sound at the listener position without further  
 25 loudspeakers or additional wiring.

In Figures 24 to 26, there are shown components of a digital sound projector system in form of block diagrams. At the input, common-format audio source material in Pulse Code Modulated (PCM) form is received from devices such as compact disks (CDs), digital video disks (DVDs) etc. by the digital sound projector  
 30 as either an optical or coaxial digital data stream in the S/PDIF format. But other

-39-

input digital data formats can be also used. This input data may contain either a simple two channel stereo pair, or a compressed and encoded multi-channel soundtrack such as Dolby Digital<sup>™</sup> 5.1 or DTS<sup>™</sup>, or multiple discrete digital channels of audio information.

5       Encoded and/or compressed multi-channel inputs are first decoded and/or decompressed in a decoder using the devices and licensed firmware available for standard audio and video formats. An analogue to digital converter (not shown) is also incorporated to allow connection (AUX) to analogue input sources which are immediately converted to a suitably sampled digital format. The resultant output  
10 comprises typically three, four or more pairs of channels. In the field of surround-sound, these channels are often referred to left, right, centre, surround (rear) left and surround (rear) right channels. Other channel may be present in the signal such as the low frequency effect channel (LFE).

These channels or channel-pairs are each fed into a two-channel sample-rate-  
15 converter (SRC) (alternatively each channel can be passed through a single channel SRC) for re-synchronisation and re-sampling to an internal (or optionally, external) standard sample-rate clock (SSC) (typically about 48.8KHz or 97.6KHz) and bit-length (typically 24 bit), allowing the internal system clocks to be independent of the source data-clock. This sample rate conversion eliminates problems due to clock  
20 speed inaccuracy, clock drift, and clock incompatibility. Specifically, if the final power-output stages of the digital sound projector are to be digital pulse-width-modulation (PWM) switched types for high efficiency, it is desirable to have a complete synchronisation between the PWM-clock and the digital data-clock feeding the PWM modulators. The SRCs provide this synchronisation, as well as isolation  
25 from the vagaries of any external data clocks.

Finally, where two or more of the digital input channels have different data-clocks (perhaps because they come from separate digital microphone systems e.g.), then again the SRCs ensure that internally all disparate signals are synchronised.

The outputs of the SRCs are converted to 8 channels of 24bit words at an  
30 internally generated sample rate of 48.8KHz.



-40-

One or more (typically two or three) digital signal processor [DSP] units are used to process the data. These may be e.g. Texas Instruments TMS320C6701 DSPs running at 133MHz, and the DSPs either perform the majority of calculations in floating-point format for ease of coding, or in fixed-point format for maximum processing speed. Alternatively, especially where fixed-point calculations are being performed, the digital signal processing can be carried out in one or more Field Programmable Gate Array (FPGA) units. A further alternative is a mixture of DSPs and FPGAs. Some or all of the signal processing may alternatively be implemented with customised silicon in the form of an Application Specific Integrated Circuit (ASIC).

A DSP stage performs filtering of the digital audio data input signals for enhanced frequency response equalisation to compensate for the irregularities in the frequency response (i.e. transfer function) of the acoustic output-transducers used in the final stage of the digital sound projector.

The number of separately processed channels may optionally, at this stage (preferably) or possibly at an earlier or later stage of processing, be reduced by combining additively the (one or more) low-frequency-effects [LFE] channel with one or more of the other channels, for example the centre channel, in order to minimise the processing beyond this stage. However, if a separate sub-woofer is to be used with the system or if processing power is not an issue, then the more discrete channels may be maintained throughout the processing chain.

The DSP stage also performs anti-alias and tone control filtering on all eight channels, and a eight-times over-sampling and interpolation to an overall eight-times oversampled data rate, creating 8 channels of 24-bit word output samples at 390 KHz. Signal limiting and digital volume-control is performed in this DSP too.

An ARM microprocessor generates timing delay data for each and every transducer, from real-time beam-steering settings sent by the user to the digital sound projector via infrared remote control. Given that the digital sound projector is able to independently steer each of the output channels (one steered output channel for each input channel, typically 4 to 6), there are a large number of separate delay

-41-

computations to be performed; this number is equal to the number of output channels times the number of transducers. As the digital sound projector is also able to dynamically steer each beam in real-time, then the computations also need to be performed quickly. Once computed, the delay requirements are distributed to the

5 FPGAs (where the delays are actually applied to each of the streams of digital data samples) over the same parallel bus as the digital data samples themselves.

The ARM core also handles all system initialisation and external communications.

The signal stream enters Xilinx field programmable gate array logic that

10 control high-speed static buffer RAM devices to produce the required delays applied to the digital audio data samples of each of the eight channels, with a discretely delayed version of each channel being produced for each and every one of the output transducers (256 in this implementation).

Apodisation, or array aperture windowing (i.e. graded weighting factors are

15 applied to the signals for each transducer, as a function of each transducer's distance from the centre of the array, to control beam shape) is applied separately in the FPGA to each channel's delayed signal versions. Applying apodisation here allows different output sound beams to have differently tailored beam-shapes. These separately delayed and separately windowed digital sample streams, one for each of 8

20 channels and for each of 256 transducers making  $8 \times 256 = 2048$  delayed versions in total, are then summed in the FPGA for each transducer to create an individual 390kHz 24-bit signal for each of the 256 transducer elements. The apodisation or array aperture windowing, may optionally be performed after the summing stage for all of the channels at once (instead of for each channel separately, prior to the

25 summing stage) for simplicity, but in this case each sound beam output from the digital sound projector will have the same window function which may not be optimal.

The two hundred and fifty-six signals at 24-bit and 390kHz are then each passed through a quantizing/noise shaping circuit also in the FPGA to reduce the data

30 sample word lengths to 8 bits at 390kHz, whilst maintaining a high signal-to-noise-

-42-

ratio [SNR] within the audible band (i.e. the signal frequency band from ~20Hz to ~20KHz).

A useful implementation practice is to make the SSC be an exact rational number fraction of the DSP master-processing-clock speed, e.g.  $100\text{MHz} / 256 = 390,625\text{ Hz}$  which locks sample data rates throughout the system to the processing clocks. It is advantageous to make the digital PWM timing clock frequency also an exact rational number fraction of the DSP master-processing-clock speed. It is specifically advantageous to make the PWM clock frequency an exact integer multiple of the internal digital audio sample data rate, e.g. 512 times the sample rate for 9-bit PWM (because  $2^9 = 512$ ). The reduction of the digital data word-length to 8, while simultaneously increasing the sample-rate is useful for several reasons:

- i) The increased sample-rate allows finer resolution of data-word delays; e.g. at 48KHz data-rate, the smallest delay increment available is 1 sample period, or ~21 microseconds, whereas at 195KHz data-rate, the smallest delay increment available is (1 sample period) ~5.1 microseconds. It is important to have sound-path-length compensation resolution (= time-delay resolution times speed-of-sound) fine compared to acoustic output-transducer diameter. In 21 microseconds sound in air at NTP travels approximately 7mm, which is too coarse a resolution when using transducers as small as 10mm diameter;
- ii) It is easier to convert PCM data directly to digital PWM at practical clock-speeds when the word-length is small; e.g. 16-bit words at 48KHz data-rate require a PWM clock speed of  $65536 \times 48\text{KHz} \sim 3.15\text{GHz}$  (largely impractical), whereas 8-bit words at 195KHz data-rate require a PWM clock speed of  $256 \times 390\text{ KHz} \sim 100\text{MHz}$  (quite practical); and
- iii) because of the increased sample rate, there is an increased available signal bandwidth at half the sample rate, so e.g. available signal bandwidth ~96KHz for a sample rate of ~195KHz; the quantization process (reduction in number

-43-

of bits) effectively adds quantization noise to the digital data; by spectrally shaping the noise produced by the quantization process, it can be predominantly moved to the frequencies above the baseband signal (i.e. in our case above ~20KHz), in the region between the top of the baseband (~20KHz and < available signal bandwidth ~ 96KHz); the effect is that nearly all of the original signal information is now carried in a digital data stream with very little loss in SNR.

The data stream with reduced sample word width is distributed in 26 serial data streams at 31.25 Mb/s each and additional volume data. Each data stream is assigned to one of 26 driver boards.

The driver circuit boards, as shown in Figure 25, which are preferably physically local to the transducers they drive, provide a pulse-width-modulated class-BD output driver circuit for each of the transducers they control. In the present example, each driver board is connected to ten transducers, whereby the transducers are directly connected to the output of the class-BD output driver circuits without any intervening low-pass-filter (LPF).

Each PWM generator drives a class-D power switch or output stage which directly drives one transducer, or a series-or-parallel-connected pair of adjacent transducers. The supply voltage to the class-D power switches can be digitally adjusted to control the output power level to the transducers. By controlling this supply voltage over a wide range, e.g. 10:1, the power to the transducer can be controlled over a much wider range, 100:1 for a 10:1 voltage range, or in general  $N^2:1$  for an  $N:1$  voltage range. This wide-ranging level control (or "volume" control) can be achieved with no reduction in digital word length, so no degradation of the signal due to further quantization (or loss of resolution) occurs. The supply voltage variation is performed by low-loss switching regulators mounted on the same printed circuit boards (PCBs) as the class-D power switches. There is one switching regulator for each class-D switch to minimise power supply line inter-modulation. To reduce cost, each switching regulator can be used to supply pairs, triplets, quads or

-44-

other integer multiples of class-D power switches.

The class-D power switches or output stages, directly drive the acoustic output transducers. In normal class-D power amplifier drives, i.e. the very commonly used so-called "class-AD" amplifiers, it is necessary to place an electronic low-pass-  
 5 filter [LPF] (invariably, an analogue electronic LPF) between the class-D power stage and the transducer. This is because the common forms of magnetic transducer (and even more so, piezoelectric transducers) present a low load-impedance to the high-frequency PWM carrier frequencies present at high energy in class-AD amplifier outputs. E.g. a class-AD amplifier with zero baseband input signal  
 10 continues to produce at its output, a full amplitude (usually bipolar) 1:1 mark-space-ratio [MSR] output signal at the PWM switching frequency (in the present case this would be at ~50 or 100MHz), which if connected across a nominal 8 Ohm load would dissipate full available power in that load, whilst creating no useful acoustic output signal. The commonly used electronic LPF has a cut off frequency above the  
 15 highest wanted signal output frequency (e.g. > 20KHz) but well below the PWM switching frequency (e.g. ~50MHz), thus effectively blocking the PWM carrier and minimising the wasted power. Such LPFs have to transmit the full signal power to the electrical loads (e.g. the acoustic transducers) with as low power-loss as possible; usually these LPFs use a minimum of two power-inductors and two, or more usually,  
 20 three capacitors; the LPFs are bulky and relatively expensive to build. In single-channel (or few-channel) amplifiers, such LPFs can be tolerated on cost grounds, and most importantly, in PWM amplifiers housed separately from their loads (e.g. conventional loudspeakers) which need to be connected by potentially long leads to their loads, such LPFs are in any case necessary for quite different reasons, viz. to  
 25 prevent the high-frequency PWM carrier getting into the connecting leads where it will most likely cause unwanted stray electromagnetic radiation [EMI] of relatively high amplitude.

In the digital sound projector, the acoustic transducers are connected directly to the physically adjacent PWM power switches by short leads and all are housed  
 30 within the same enclosure, eliminating the problems of EMI. In the digital sound

-45-

projector, the PWM generators are of a type known as class-BD; these produce class-BD PWM signals which drive the output power switches and these in turn drive the acoustic output transducers. Class-BD PWM output signals have the property that they return to zero between the full amplitude bipolar pulse outputs, and thus are

5 tristate, not bistate like class-AD signals. Thus, when the digital input signal to a class-BD PWM system is zero, then the class-BD power output state is zero, and not a full-power bipolar 1:1 MSR signal as is produced by class-AD PWM. Thus the class-BD PWM power switch delivers zero power to the load (the acoustic transducer) in this state; no LPF is required as there is no full-power PWM carrier

10 signal to block. Thus in the digital sound projector, by using an array of class-BD PWM amplifiers to drive directly an integral array of transducers, a great saving in cost, and lost power, is achieved, by eliminating the need for an array of power LPFs. Class-BD is rarely used in conventional audio amplifiers, firstly because it is more difficult to make a very high linearity class-BD amplifier, than a similarly linear

15 class-AD amplifier; and secondly because for the reasons stated above an LPF is generally required anyway, for EMI considerations, thus negating the principal benefits of class-BD.

The acoustic output transducers themselves are very effective electroacoustic LPFs and so an absolute minimum of PWM carrier from the class-BD PWM stages is

20 emitted as acoustic energy. Thus in the digital sound projector digital array loudspeaker, the combination of class-BD PWM with direct coupling to in-the-same-box acoustic transducers and without electronic LPFs, is a very effective and cost effective solution to high-efficiency, high-power, multiple transducer driving. Furthermore, since the sound of any one (or more) output channels corresponding to

25 one of the input channels, heard by a listener to the digital sound projector, is a summation of sounds from each and every one of the acoustic output transducers and thus related to a summation of the outputs from each of the power-amplifier stages driving those transducers, non-systematic errors in the outputs of the power switches and transducers will tend to average to zero and be minimally audible. Thus an

30 advantage of the array loudspeaker constructed as described is that it is more

-46-

forgiving of the quality of individual components, than in a conventional non-array audio system.

In a particular implementation of the digital sound projector with 254 acoustic output transducers arranged in a triangular array of roughly rectangular extent with one axis of the array vertical (and of extent 7 vertical columns of 20 transducers each separated by 6 column of 19 transducers) and with every second output transducer in each vertical column of transducers connected electrically in series or in parallel with the transducer immediately below it, this results in one hundred and thirty two (132) different versions of each of the channels, the number of channels being five in this example, i.e., six hundred and sixty channels in total. A transducer diameter small enough to ensure approximately omnidirectional radiation from the transducer up to high audio frequencies (e.g. > 12KHz to 15KHz) is important if the digital sound projector is to be able to steer beams of sound at small angles from the plane of the transducer array. Thus a transducer diameter of between 5mm and 30mm is optimum for whole audio-band coverage. A transducer-to-transducer spacing small compared with the shortest wavelengths of sound to emitted by the digital sound projector is desirable to minimise the generation of "spurious" sidelobes of acoustic radiation (i.e. beams of acoustic energy produced inadvertently and not emitted in the desired direction(s)). Practical considerations on possible transducer size dictate that transducer spacing in the range 5mm to 45mm is best. A triangular array layout is also best for high-areal-packing density of transducers in the array.

As illustrated by Figure 26, the digital sound projector user-interface produces overlay graphics for on-screen display of setup, status and control information, on any suitably connected video display, e.g. a plasma screen. To this end the video signal from any connected audio-visual source (e.g. a DVD player) may be looped through the digital sound projector en route to the display screen where the digital sound projector status and command information is then also overlayed on the programme video. If the process delay of the signal processing operations from end to end of the digital sound projector are sufficiently long, (e.g.

-47-

when the length of the compensation filter running on the first two DSPs which depends on the transducer linearity and the equalisation required, is long) then to avoid lip-sync problems, an optional video frame store can be incorporated in the loop-through video path, to re-synchronise the displayed video with the output  
5 sound.



-48-

CLAIMS

1. A method of creating a sound field comprising a plurality of channels of sound using an array of output transducers, said method comprising:
  - 5 for each channel, selecting a first delay value in respect of each output transducer, said first delay value being chosen in accordance with the position in the array of the respective transducer;
  - selecting a second delay value for each channel, said second delay value being chosen in accordance with the expected travelling distance of sound waves of
  - 10 that channel from said array to a listener;
  - obtaining, in respect of each output transducer, a delayed replica of a signal representing each channel, each delayed replica being delayed by a value having a first component comprising said first delay value and a second component comprising said second delay value.
  - 15
2. A method according to claim 1 or 2, wherein said second delay is applied to each signal representing said channel before said signal is replicated; each replica then being delayed by the respective first delay value.
- 20 3. A method according to claim 1 or 2, wherein said first delay value is also chosen in accordance with a given direction so that each channel of sound is directed in respective direction.
4. A method according to claim 3, wherein each channel is directed in a
- 25 different respective direction.
5. A method according to any one of the preceding claims, wherein said second delay value is chosen such that corresponding parts of all sound channels reach the listener at substantially the same time.
- 30

-49-

6. Apparatus for creating a sound field comprising:  
a plurality of inputs for a plurality of respective signals representing different  
sound channels;  
an array of output transducers;  
5 replication means arranged to obtain, in respect of each output transducer, a  
replica of each respective input signal;  
first delay means arranged to delay each replica of each signal by a respective  
first delay value chosen in accordance with the position in the array of the respective  
output transducer;  
10 second delay means arranged to delay each replica of each signal by a second  
delay value chosen for each channel in accordance with the expected travelling  
distance of sound waves of that channel from the array to a listener.
7. Apparatus according to claim 6, wherein said second delay means is  
15 arranged to delay said input signals before they are replicated by said replication  
means.
8. Apparatus according to claim 6 or 7, wherein said first delay value is  
also chosen in accordance with a given direction so that each channel of sound is  
20 directed in said respective direction.
9. Apparatus according to claim 8, wherein each channel is directed in a  
different direction.
- 25 10. Apparatus according to any one of claims 6 to 9, wherein said second  
delay means is arranged to choose said second delay for each channel such that all  
sound channels reach a listener at substantially the same time.
11. A method of creating a sound field comprising a centre channel and at  
30 least one surround sound channel using an array of output transducers to direct the at

-50-

least one surround sound channel in a predetermined direction, said method comprising:

- for the at least one surround sound channel, selecting a first delay value in respect of each output transducer, said first delay values being chosen in accordance with the position in the array of the respective transducer so as to direct the channel in said predetermined direction;
- selecting a second delay value for the centre channel, said second delay value being chosen in accordance with the expected travelling distance of sound waves of the channels from the array to the listener;
- 10 obtaining, in respect of each output transducer, a delayed replica of a signal representing the at least one surround sound channel, each delayed replica being delayed by the first delay value calculated for that output transducer and that channel;
- obtaining, in respect of each output transducer, a delayed replica of a signal representing the centre channel, each delayed replica being delayed by said second delay value;
- 15 outputting said delayed replicas using said array of output transducers.

12. A method according to claim 11, further comprising:

- for the centre channel, selecting a first delay value in respect of each output transducer, said first delay values being chosen in accordance with the position in the array of the respective transducer so as to direct the centre channel in a predetermined direction;
- and wherein said step of obtaining, in respect of each output transducer, a delayed replica of a signal representing the centre channel further comprises:
- 25 delaying each replica of the signal representing said centre channel by the first delay value calculated for the respective output transducer and the centre channel.

- 13. A method according to claim 11, wherein replicas of the signal representing said centre channel are not delayed by values other than said second
- 30

-51-

delay value, said second delay values being the same for each replica of the signal.

14. A method according to any one claims 11 to 13, further comprising:  
for the at least one surround sound channel, selecting a second delay value in  
5 respect of each output transducer, said second delay value being chosen in  
accordance with the expected travelling distance of sound waves of the channels  
from the array to the listener;

and wherein said step of obtaining, in respect of each output transducer, a  
delayed replica of a signal representing the at least one surround sound channel  
10 further comprises;

delaying each replica of the signal representing said at least one surround  
sound channel by the second delay value calculated for the respective output  
transducer and the at least one surround sound channel.

15. A method according to any one of claims 11 to 14, wherein said  
second delay is applied to each signal representing said centre channel before said  
signal is replicated.

16. A method according to any one of claims 11 to 15, wherein said sound  
20 field comprises two surround sound channels, each surround sound channel being  
directed in a different direction.

17. A method according to any one of claims 11 to 16, wherein said  
second delay value is chosen such that corresponding parts of all sound channels  
25 reach the listener at substantially the same time.

18. A method according to any one of claims 11 to 17, wherein said  
delayed replicas of the signal representing the at least one surround sound channel  
are added to respective delayed replicas of the signal representing the centre channel  
30 before being output by the respective output transducers.

-52-

19. A method according to any one of claims 11 to 18, wherein the sound waves of said at least one surround sound channel are bounced off a surface such as a wall before reaching the listener.
- 5 20. Apparatus for creating a sound field comprising:  
 means for receiving a plurality of input signals representing at least one surround sound channel and a centre channel;  
 an array of output transducers;  
 replication means arranged to obtain, in respect of each output transducer, a  
 10 replica of said signal representing said at least one surround sound channel and a replica of said signal representing a centre channel;  
 first delay means arranged to delay each replica of said signal representing said at least one surround sound channel by a respective first delay value chosen in accordance with the position in the array of the respective transducer so as to direct  
 15 the channel in a predetermined direction;  
 second delay means arranged to delay each replica of said signal representing said centre channel by a second delay value chosen in accordance with the expected travelling distance of sound waves of the channels from the array to a listener.
- 20 21. Apparatus according to claim 20, wherein said first delay means is also arranged to delay each replica of said signal representing said centre channel by a respective first delay value chosen in accordance with the position in the array of the respective transducer so as to direct the centre channel in a predetermined direction.
- 25 22. Apparatus according to claim 20 or 21, wherein said second delay means is also arranged to delay each replica of said signal representing said at least one surround sound channel by a respective second delay value chosen in accordance with the expected travelling distance of sound waves of the channels from the array  
 30 to the listener.

-53-

23. Apparatus according to any one of claims 20 to 22, wherein said second delay means is arranged to delay said input signals before they are replicated by said replication means.
- 5 24. Apparatus according to any one of claims 20 to 23, wherein said sound field comprises two surround sound channels, and said first delay means is arranged to cause each surround sound channel to be directed in a different direction.
25. Apparatus according to any one of claims 20 to 24, wherein said  
10 second delay means is arranged to choose said second delay for the channels such that all sound channels reach a listener at substantially the same time.
26. Apparatus according to any one of claims 20 to 25, wherein said first delay means and said second delay means are the same physical means.  
15
27. A method according to any one of claims 11 to 19 or an apparatus according to any one of claims 20 to 26, wherein said output transducers are directly driven by class-BD PWM amplifiers.
- 20 28. A method of providing temporal correspondence between pictures and sound in an audio-visual presentation using an array of output transducers to reproduce the sound content comprising a plurality of channels, said method comprising:  
25     delaying, in respect of each output transducer, a replica of each signal representing a sound channel by a respective audio delay value;  
       delaying a video signal by a video delay value calculated so corresponding video pictures are displayed at substantially the time the temporally corresponding sound channels reach the listener.
- 30 29. A method according to claim 28, wherein each audio delay value is

-54-

calculated in accordance with the position in the array of the respective transducer.

30. A method according to claim 29, wherein each audio delay value is also calculated in accordance with the expected travelling distance of sound waves of  
5 that channel from said array to a listener.

31. A method according to claim 30, wherein each audio delay value is calculated such that temporally corresponding parts of each sound channel reach the listener at substantially the same time.

10 32. A method according to any one of claims 28 to 31, wherein said video delay value is calculated so as to have a component equal to the time taken for the sound channel having the greatest distance to travel between said array and said listener to travel between said array and said listener.

15 33. Apparatus to provide temporal correspondence between pictures and a plurality of sound channels in an audio-visual presentation comprising:  
an array of output transducers;  
replication and delay means arranged to obtain, in respect of each output  
20 transducer, a delayed replica of each signal representing a sound channel;  
video delay means arranged to delay a corresponding video signal by a video delay value calculated so corresponding video pictures are displayed at substantially the time the temporally corresponding sound channels reach the listener.

25 34. Apparatus according to claim 33, wherein said replication and delay means is arranged so that each audio delay value is calculated in accordance with the position in the array of the respective transducer.

30 35. Apparatus according to claim 34, wherein said replication and delay means is arranged so that each audio delay value is also calculated in accordance

-55-

with the expected travelling distance of sound waves of that channel from said array to a listener.

36. Apparatus according to claim 35, wherein said replication and delay  
5 means is arranged so that each audio delay value is calculated such that temporally corresponding parts of each sound channel reach the listener at substantially the same time.

37. Apparatus according to claims 33 to 36, wherein said video delay  
10 means is arranged so that said video delay value is calculated so as to be equal to the time taken for the sound channel having the greatest distance to travel between said array and said listener to travel between said array and said listener.

38. A method of creating a sound field comprising a plurality of channels  
15 of sound using an array of output transducers, said method comprising:  
for each channel, obtaining, in respect of each output transducer, a replica of a signal representing said channel so as to obtain a set of replica signals for each channel;  
applying a first window function to a first set of replica signals originating  
20 from a first sound channel signal;  
applying a second, different, window function to a second set of replica signals originating from a second sound channel signal.

39. A method according to claim 38, wherein applying a window function  
25 comprises:  
attenuating or amplifying each replica signal such that replica signals destined for output transducers near the centre of the array are attenuated less or amplified more than replica signals destined for output transducers near the edges of the array, the amount of attenuation or amplification being determined by said window  
30 function.



-56-

40. A method according to claim 38 or 39, wherein the window function used is selected in accordance with how the respective sound channel is output by the array.
- 5 41. A method according to any one of claims 38 to 40, wherein the window function used is selected in accordance with a required beam type for that channel.
42. A method according to any one of claims 38 to 41, wherein the  
10 window function used has a shape alterable as a function of a volume control.
43. Apparatus to create a sound field comprising a plurality of channels of sound, comprising:  
an array of output transducers;  
15 replication means for providing, in respect of each output transducer, a replica of a signal representing each of said plurality of channels;  
windowing means for applying a first window function to a first set of replica signals originating from a first sound channel signal and for applying a second, different, window function to a second set of replica signals originating from a  
20 second channel signal.
44. Apparatus according to claim 43, wherein said windowing means is arranged to attenuate or amplify each replica signal such that replica signals destined for output transducers near the centre of the array are attenuated less or amplified  
25 more than replica signals destined for output transducers near the edges of the array, the amount of attenuation or amplification being determined by said window function.
45. Apparatus according to claim 43 or 44, wherein said windowing  
30 means is provided directly after said replication means.

-57-

46. Apparatus according to any one of claims 43 to 45, wherein said windowing means is arranged to select a window function in accordance with a required beam type for that channel.
- 5 47. Apparatus according to any one of claims 43 to 46, wherein the window function applied to a set of replicas originating from a signal representing a channel is altered in shape in accordance with the volume selected for said channel.
48. A method of creating a sound field using an array of output  
10 transducers, said method comprising:  
dividing an input signal into at least a low frequency component and a high frequency component;  
using output transducers spanning a first portion of the array to output said low frequency component; and  
15 using output transducers spanning a second portion of said array smaller than said first portion to output said high frequency component.
49. A method according to claim 48, wherein said second portion comprises a subset of said output transducers located near the centre of the array.  
20
50. A method according to claim 48 or 49, wherein there are 3 or more divided signal frequency components and the portion of the array used for a signal component is determined such that the ratio of the shortest wavelength in said signal component to the portion of array used to output said signal component is  
25 substantially constant for all signal components.
51. A method according to any one of claims 48 to 50, wherein said second portion of the array used for said high frequency component is not used for said low frequency component.

30

-58-

52. A method according to any one of claims 48 to 51, wherein said second portion of the array used for said high frequency component comprises a greater density of output transducers than the array as a whole on average.
- 5 53. An apparatus arranged to perform the method according to any one of claims 48 to 52.
54. Apparatus for creating a sound field comprising:  
an array of output transducers wherein in a first area of the array the output  
10 transducers are more densely packed than in the remainder of said array.
55. Apparatus according to claim 54, wherein said first area is located substantially at the centre of the array.
- 15 56. Apparatus according to claim 54 or 55, wherein the output transducers in said first area are less powerful than the output transducers in the remainder of the array.
57. Apparatus according to any one of claims 54 to 56, wherein the output  
20 transducers in said first area are smaller than the output transducers in the remainder of the array.
58. Apparatus according to any one of claims 54 to 57, further comprising means for routing a high frequency component of a signal to said first area of the  
25 array, but not to the remainder of the array.
59. Apparatus according to any one of claims 54 to 58, further comprising means to route a low frequency components of a signal to the remainder of the array.
- 30 60. An array of output transducers positioned next to each other in a line;

-59-

wherein each of said output transducers has a dimension in the direction perpendicular to said line larger than the dimension parallel to said line.

61. An array according to claim 60, wherein each output transducer has an aspect ratio defined as the ratio of the dimension perpendicular to the line to the dimension parallel to the line and said aspect ratio is at least 2:1.

62. An array according to claim 61, wherein said aspect ratio is at least 3:1.

63. An array according to any one of claims 60 to 62, wherein said arrangement is such that sound is concentrated substantially in a plane containing said line and extending perpendicularly away from the sound emitting side of said transducers.

64. A method of causing plural input signals representing respective channels to appear to emanate from respective different positions in space, said method comprising:

- providing a sound reflective or resonant surface at each of said positions in space;
- providing an array of output transducers distal from said positions in space; and
- directing, using said array of output transducers, sound waves of each channel towards the respective position in space to cause said sound waves to be re-transmitted by said reflective or resonant surface, said sound waves being focussed at a position in space in front of, or behind, said reflective or resonant surface;

said step of directing comprising:

- obtaining, in respect of each transducer, a delayed replica of each input signal delayed by a respective delay selected in accordance with the position in the array of the respective output transducer and said respective focus position such that the

-60-

sound waves of the channel are directed towards the focus position in respect of that channel;

summing, in respect of each transducer, the respective delayed replicas of each input signal to produce an output signal; and

5 routing the output signals to the respective transducers.

65. A method according to claim 64, wherein said step of obtaining, in respect of each output transducer, a delayed replica of the input signal comprises:

replicating said input signal said predetermined number times to obtain a  
10 replica signal in respect of each output transducer;

delaying each replica of said input signal by said respective delay selected in accordance with the position in the array of the respective output transducer and the desired position of focus.

15 66. A method according to claim 64 or claim 65, further comprising:  
calculating, before said delaying step, the respective delays in respect of each input signal replica by:

determining the distance between each output transducer and the focus position in respect of that input signal;

20 deriving respective delay values such that the sound waves from each transducer for a single channel arrive at said focus position in space simultaneously.

67. A method according to any one of claims 64 to 66, wherein at least one of said surfaces is provided by a wall of a room or other permanent structure.

25

68. An apparatus for causing plural input signals representing respective channels to appear to emanate from respective different positions in space, said apparatus comprising:

a sound reflective or resonant surface at each of said positions in space;  
30 an array of output transducers distal from said positions in space; and

-61-

a controller for directing, using said array of output transducers, sound waves of each channel towards that channel's respective position in space such that said sound waves are re-transmitted by said reflective or resonant surface, said sound waves being focussed at a position in space in front of, or behind, said reflective or  
 5 resonant surface;

said controller comprising:

replication and delay means arranged to obtain, in respect of each transducer, a delayed replica of the input signal delayed by a respective delay selected in accordance with the position in the array of the respective output transducer and the  
 10 respective focus position such that the sound waves of the channel are directed towards the focus position in respect of that input signal;

adder means arranged to sum, in respect of each transducer, the respective delayed replicas of each input signal to produce an output signal; and

means to route the output signals to the respective transducers such that the  
 15 channel sound waves are directed towards the focus position in respect of that input signal.

69. An apparatus according to claim 68, wherein said controller further comprises:

20 calculation means for calculating the respective delays in respect of each input signal replica by:

determining the distance between each output transducer and the focus position in respect of that input signal;

deriving respective delay values such that the sound waves from each  
 25 transducer for a single channel arrive at said focus position simultaneously.

70. An apparatus according to claims 68 or 69, wherein said surfaces are reflective and have a roughness on the scale of the wavelength of sound frequency it is desired to diffusely reflect.

30

-62-

71. An apparatus according to any one of claims 68 to 70, wherein said surfaces are optically-transparent.

72. An apparatus according to any one of claims 68 to 71, wherein at least  
5 one of said surfaces is a wall of a room or other permanent structure.

73. A method of selecting a direction in which to focus sound, said method comprising;  
pointing a video camera in the desired direction, using the viewfinder or other  
10 screen means to determine if the direction is that desired;  
calculating a plurality of signal delays, to be applied to a set of replicas of an input signal so as to direct sound in the selected direction.

74. A method of determining where sound is directed, said method  
15 comprising;  
automatically adjusting the direction in which a video camera points in accordance with the direction in which sound is directed;  
discerning from the viewfinder or other screen means which direction the camera is pointing in.

20 75. A method according to claim 73 or 74, wherein said sound is focussed and said camera is arranged to be focussed at the same position as said sound.

76. A method according to claim 73 or 74, wherein said sound is focussed  
25 using reference points in the room.

77. An apparatus for setting up or monitoring a sound field comprising:  
an array of output transducers;  
a directable video camera;  
30 means controlling said array of output transducers and said video camera such

-63-

that said video camera points in the same direction as a sound beam from said array is directed.

78. An apparatus according to claim 77, wherein said camera is attached  
5 to said array.

79. An apparatus according to claim 77 or 78, wherein said sound beam is  
arranged to be focussed and said camera is arranged to be focussed at substantially  
the same point.  
10

80. An apparatus according to claim 77 or 79, wherein said sound beam is  
arranged to be focussed at a reference point within the camera's field of view.



1/18

Fig.1.

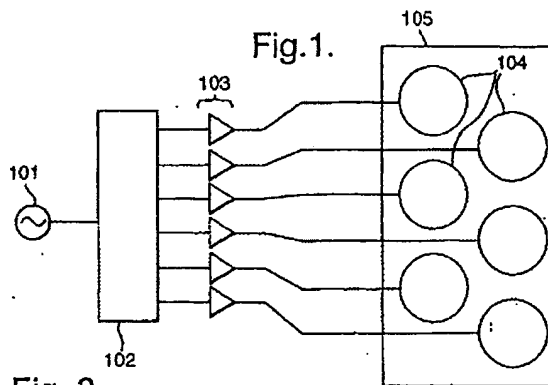


Fig. 2

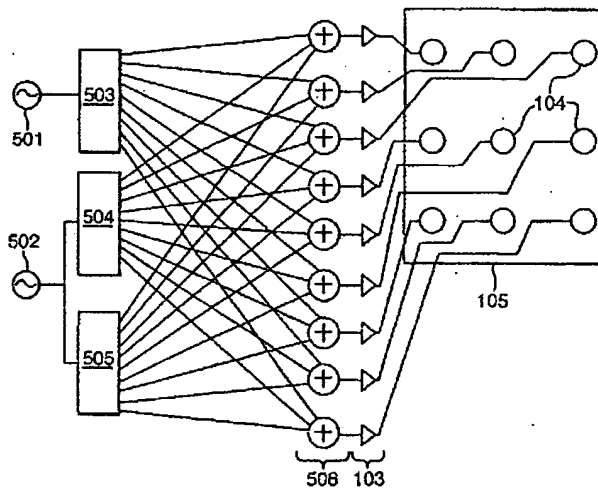


Fig. 3

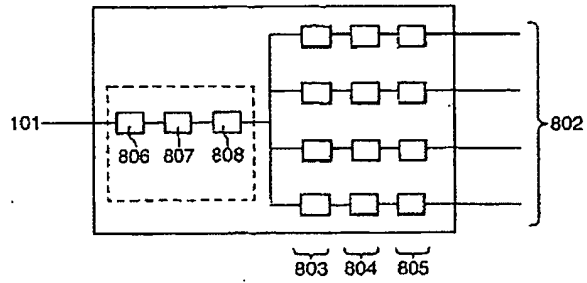
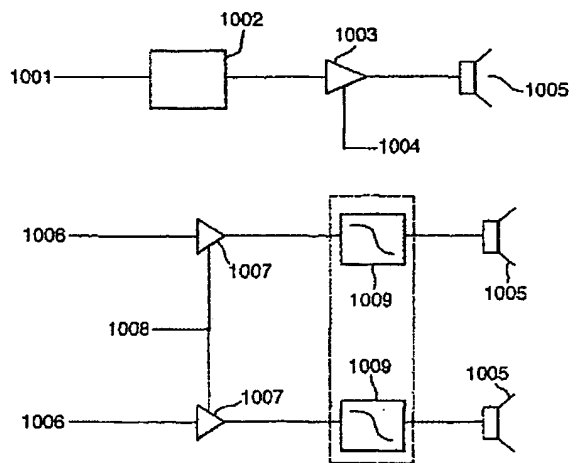


Fig. 4



3/18

Fig. 5

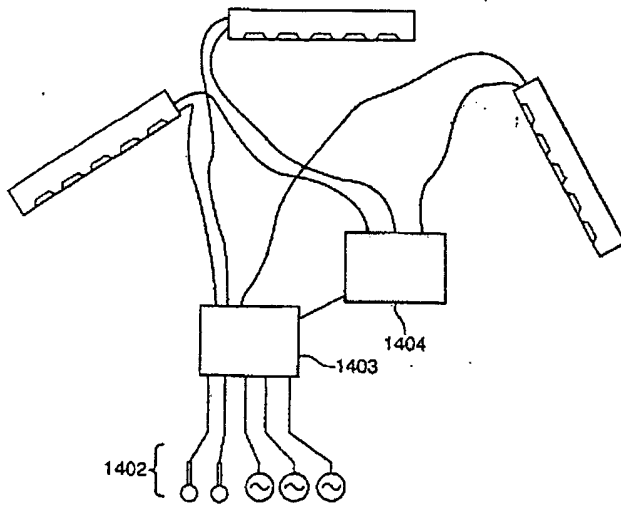


Fig. 6

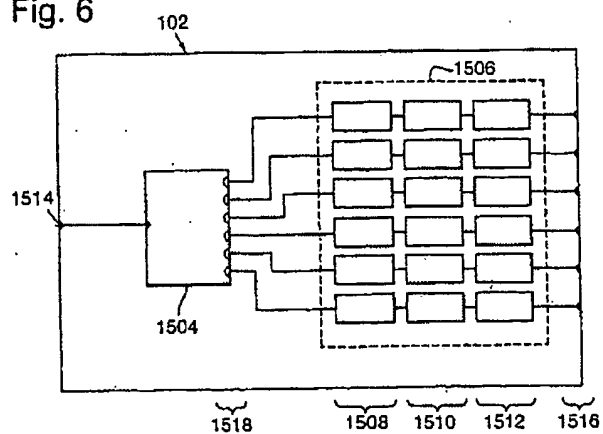


Fig. 7A

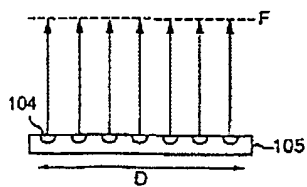
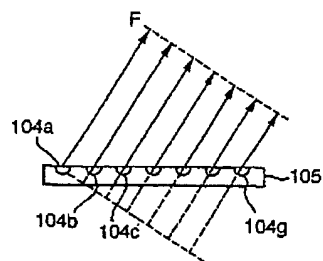
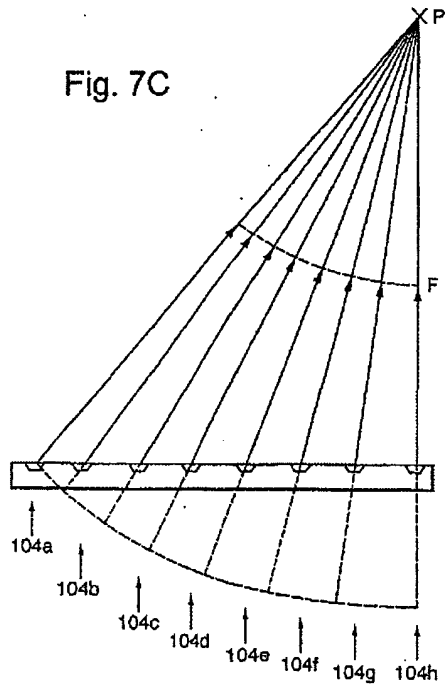


Fig. 7B



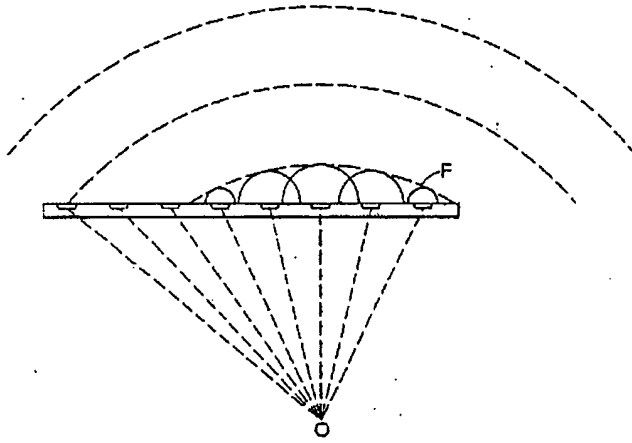
5/18

Fig. 7C



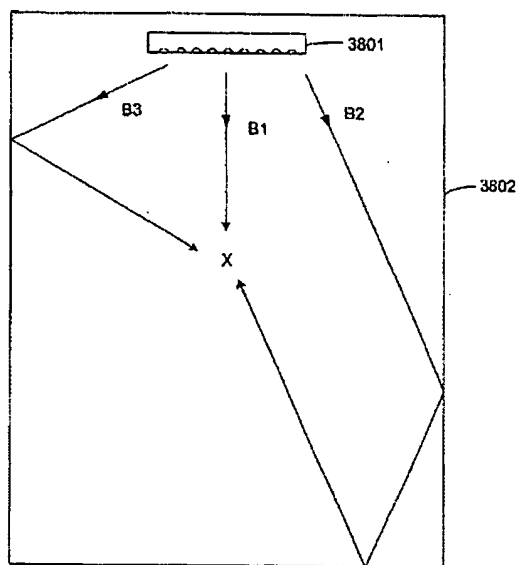
6/18

Fig. 7D.



7/18

Fig. 8



8/18

Fig. 9

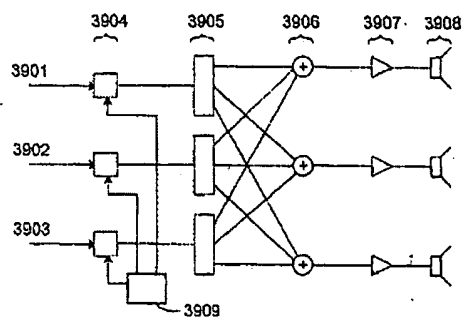
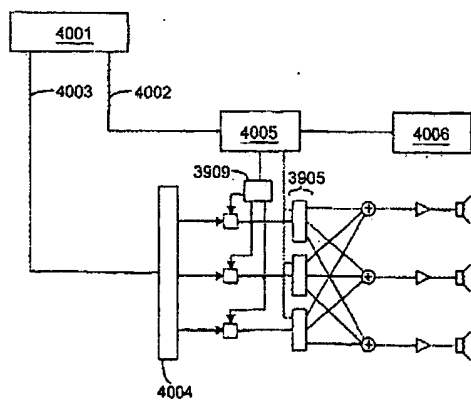
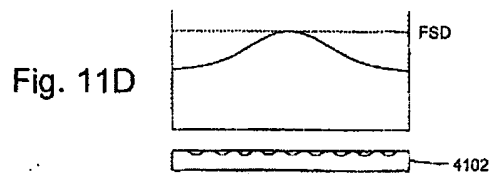
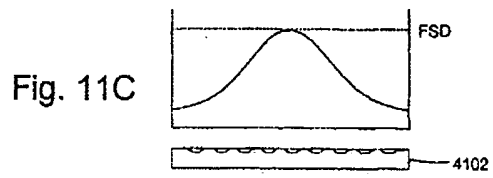
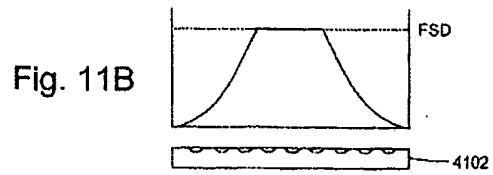
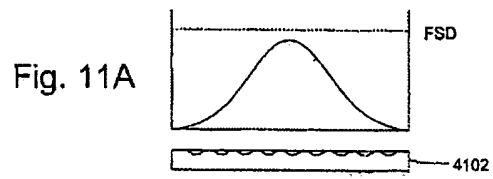


Fig. 10





9/18



10/18

Fig. 12

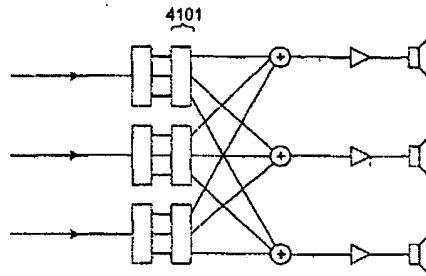
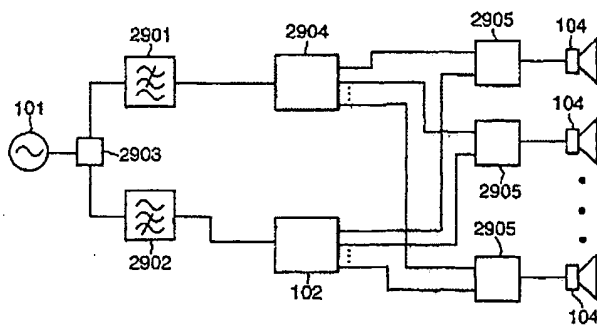


Fig. 13



11/18

Fig. 14

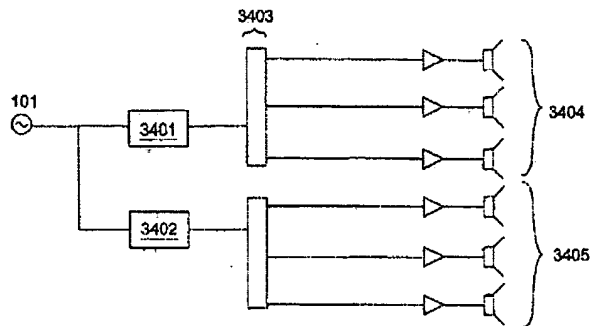
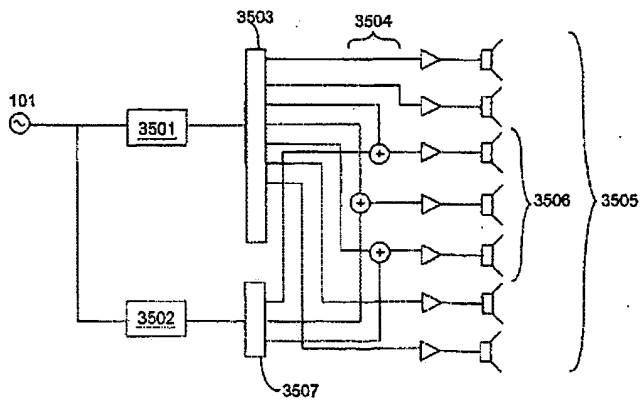


Fig. 15



12/18

Fig. 16

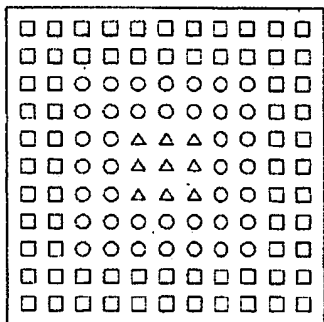


Fig. 17

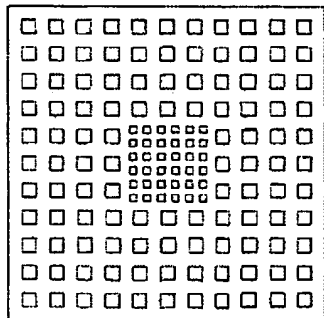


Fig. 18

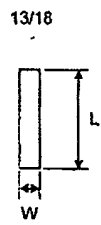


Fig. 19

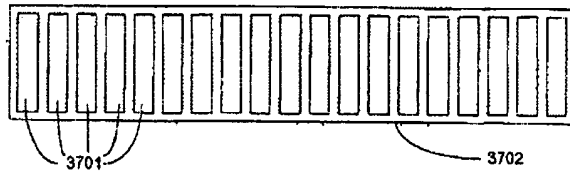
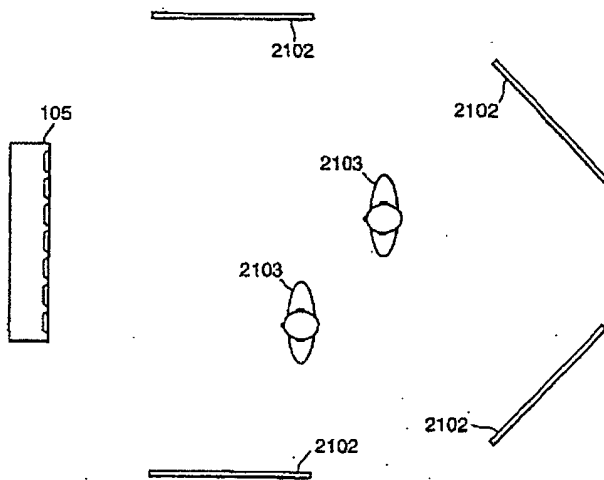


Fig. 20



14/18

Fig. 21

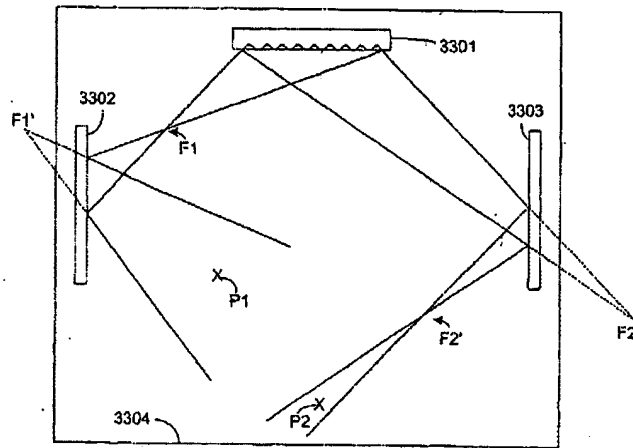
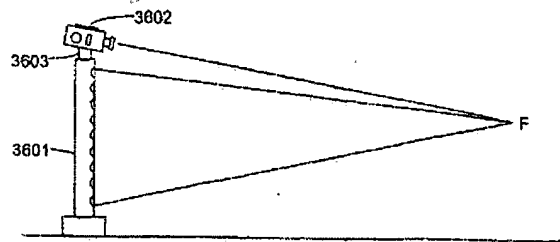


Fig. 22



15/18

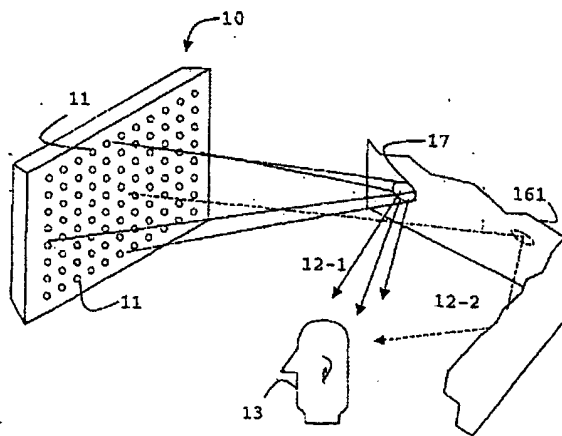


Fig. 23

16/18

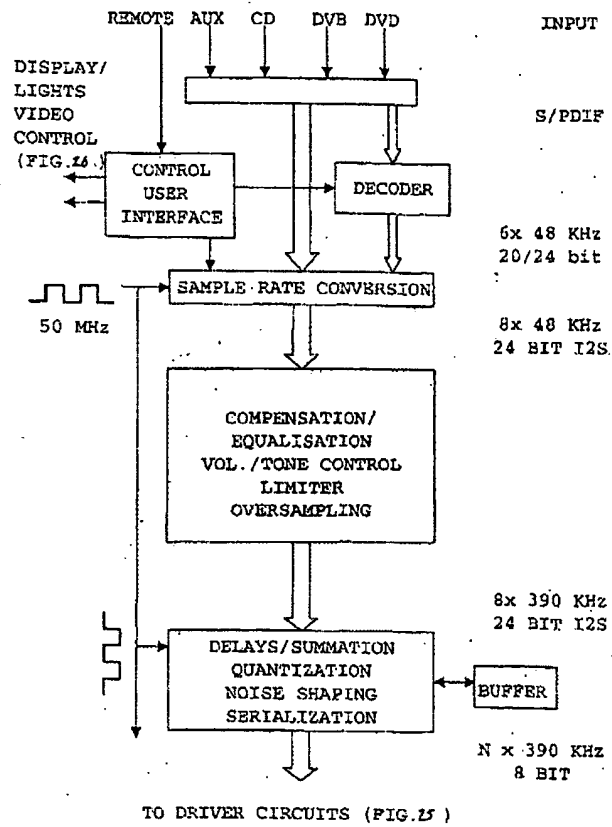


Fig. 24



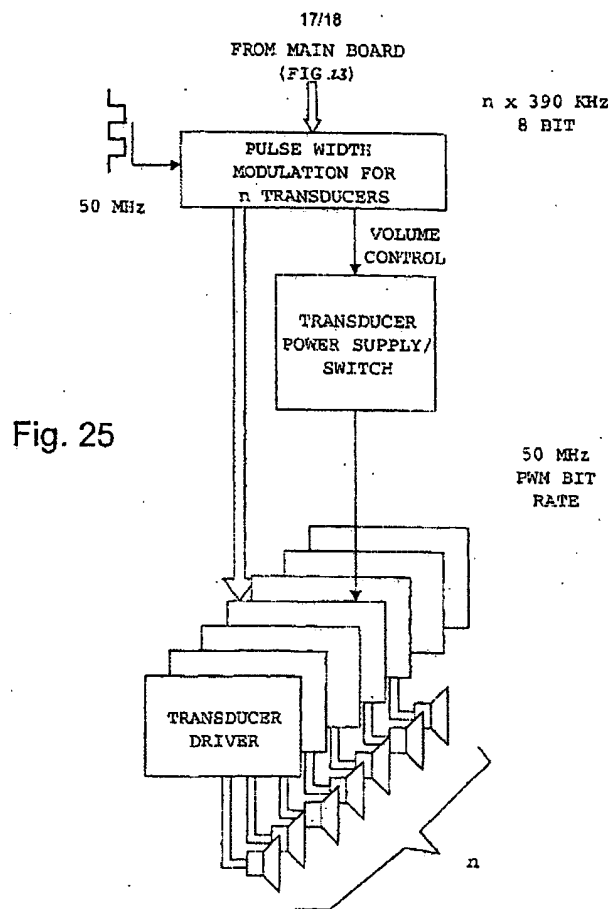


Fig. 25

18/18

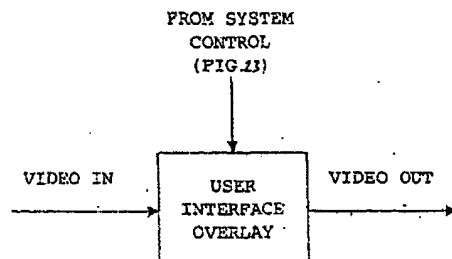


Fig. 26

(3) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property  
Organization  
International Bureau



(43) International Publication Date  
3 October 2002 (03.10.2002)

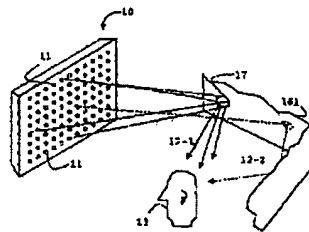
PCT

(10) International Publication Number  
WO 2002/078388 A3

- (51) International Patent Classification: B60R 1/40, 3/12, 3/00
- (21) International Application Number: PCT/GB2002/001472
- (22) International Filing Date: 27 March 2002 (27.03.2002)
- (23) Filing Language: English
- (24) Publication Language: English
- (30) Priority Data:  
01/075/99.1 27 March 2001 (27.03.2001) GB  
02/002/91.3 8 January 2002 (08.01.2002) GB
- (71) Applicant (for all designated States except US): LAM-  
FIED (GB/GB); 51 John's Innovation Centre, Cowley  
Road, Cambridge CB4 0WS (GB).
- (72) Inventor; and  
(73) Inventor/Applicant (for US only): TROUGHTON,  
Paul, Thomas (GB/GB); 71 Gwydd Street, Cambridge  
CB1 2LG (GB). BOOLEY, Anthony (GB/GB); 79 De  
Pewee Avenue, Cambridge CB4 1HP (GB). GOLDIE,  
Angus, Gavin (GB/GB); 2 Canterbury Close, Cambridge  
CB4 3QJ (GB). EASTON, Mark, George (GB/GB);  
70 Dince Way, Cambridge CB5 1QG (GB). HENSEK,  
Irvine, Alexander (GB/GB); 26 Bedmole Close, Cam-  
bridge CB4 1NW (GB). DAVIES, James (NZ/GB); 73  
Edon Street, Cambridge CB1 1EL (GB). RYAN, Doreen,  
Thomas (GB/GB); 41 Midland Avenue, Cambridge CB4  
1TA (GB). WINDICE, Paul, Raymond (GB/GB); 10  
Blacklock Close, Saffron Walden, Essex CB11 4BX  
(GB).
- (74) Agent: MERRYWEATHER, Colin, Henry et al; J.A.  
Kemp & Co., 14 South Square, Gray's Inn, London WC1R  
5D (GB).
- (80) Designated States (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU,  
AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU,  
CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EG, ES, FI, GB, GD, GH, GI,  
GR, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KG, KP, KR, KZ, LC,  
LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW,  
MX, MY, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG,  
SI, SK, SL, TH, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,  
VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (84) Designated States (regional): ARIPO patent (GB, GM,  
KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW).

(Continued on next page)

(64) Title: METHOD AND APPARATUS TO CREATE A SOUND FIELD



(57) Abstract: The invention generally relates to a method and apparatus for taking an input signal, replicating it a number of times and modifying each of the replicas before sending them to respective output transducers such that a desired sound field is created. This sound field may comprise a directed beam, focused beam or a simulated origin. In a first aspect, delays are added to sound channels to remove the effects of different travelling distances. In a second aspect, a delay is added to a video signal to account for the delays added to the sound channels. In a third aspect, different window functions are applied to each channel to give improved flexibility of use. In a fourth aspect, a smaller array of transducers is used to output high frequency than are used to output low frequencies. An array having a larger density of transducers near the centre is also provided. In a fifth aspect, a type of elongate transducer is provided to give good directivity in a plane. In a sixth aspect, sound beams are focussed in front or behind surfaces to give different beam widths and simulated origins. In a seventh aspect, a camera is used to indicate where sound is directed.

WO 2002/078388 A3



Designated patent (AM, AZ, BY, EO, KZ, MD, RU, TJ, TM),  
European patent (AL, DE, CH, CY, DK, ES, FI, FR,  
GB, GR, IE, IT, LI, NL, NO, PT, SE, TR), OAPI patent  
(BF, BI, CF, CO, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR,  
NE, SN, TD, TO).

(86) Date of publication of the international search report  
8 January 2004

For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.

**Publications**

- with international search report
- before the expiration of the time limit for amending the claims and to be republished in the event of receipt of amendments

## 【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International PCT/GB 02/01472
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 H04R/40 H04R3/12 H04R3/00		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELD OF SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 H04R G10K H04S		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the lists searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	SETSU KONIYAMA: "DISTANCE CONTROL OF SOUND IMAGES FOR 3D TV" NHK LABORATORIES NOTE, NHK TECHNICAL RESEARCH LABORATORIES, TOKYO, JP, no. 406, 1 August 1992 (1992-08-01), pages 1-11, XP000320857 ISSN: 0027-657X page 1 -page 4, paragraph 3	1, 6, 11, 20, 28, 33, 38, 54, 64, 68
A	JP 04 127700 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD) 28 Apr 11 1992 (1992-04-28)  abstract  -/-	1, 6, 11, 20, 28, 33, 38, 54, 64, 68
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "P" earlier document published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another claim or other special reason (as specified) "C" document relating to an oral disclosure, use, exhibition or other means "D" document published prior to the international filing date but later than the priority date obtained "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the problem or theory underlying the invention "N" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "I" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is considered with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "X" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
7 November 2003		14/11/2003
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.O. Box 5516 Patentstrasse NL-2220 HV Rijswijk Tel (+31-70) 340-3040, Te. 31 851 800 00 Fax (+31-70) 340-3010		Authorized officer  Tsapellis, A

Form PCT/ISA/210 (second sheet) July 1992

name 1 of 2

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

 Inventor — application No  
 PCT/GB 02/01472

C. (Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X, P	WO 01 23104 A (BIENEK IRVING ALEXANDER ; TROUGHTON PAUL THOMAS (GB); WINDLE PAUL R) 5 April 2001 (2001-04-05) the whole document	1-80
E	US 2002/131608 A1 (LOBB WILLIAM ET AL) 19 September 2002 (2002-09-19)  page 1, right-hand column, paragraph 10 -page 2, left-hand column, paragraph 15 page 2, right-hand column, paragraph 27 -page 3, left-hand column, paragraph 35; figures 1-6	1, 6, 11, 20, 28, 33, 38, 54, 64, 68

Form PCT/ISA/210 (Continuation of standard sheet) (July 1992)

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

 International application No.  
 PCT/68 02/01472

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
JP 04127700	A	28-04-1992	NONE
WO 0123104	A	05-04-2001	
		AU 7538000 A	30-04-2001
		CN 1402952 T	12-03-2003
		EP 1224037 A2	24-07-2002
		WO 0123104 A2	05-04-2001
		JP 2003510924 T	18-03-2003
US 2002131608	A1	19-09-2002	WO 02071796 A1
			12-09-2002

## フロントページの続き

(81) 指定国 AP (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OA (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW

(72) 発明者 トロフトン、ポール、トーマス

イギリス国 ケンブリッジ、グウィディール ストリート 7 1

(72) 発明者 フーリー、アンソニー

イギリス国 ケンブリッジ、デ フレヴィル アヴェニュー 7 9

(72) 発明者 ゴウディー、アンガス、ギャヴィン

イギリス国 ケンブリッジ、カンタベリー クローズ 2

(72) 発明者 イーストン、マーク、ジョージ

イギリス国 ケンブリッジ、ディットン ウォーク 7 0

(72) 発明者 ビーネク、アーヴィング、アレクサンダー

イギリス国 ケンブリッジ、バドミントン クローズ 2 6

(72) 発明者 デイヴィーズ、ジェイムズ

イギリス国 ケンブリッジ、イーデン ストリート 7 3

(72) 発明者 ライアン、デイモン、トーマス

イギリス国 ケンブリッジ、メイトランド アヴェニュー 4 1

(72) 発明者 ウィンドル、ポール、レイモンド

イギリス国 エセックス、サフロン ウォールデン、 ブラックランズ クローズ 1 0

F ターム(参考) 5C022 AB21 AB62 AB63 AC27 AC69 AC71 AC74

5D018 AF22

5D062 CC13



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**